

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma / bioenergia

Essi Kalliomäki

KUIVATUN SAHATAVARAN LOPPUKOSTEUS JA KOSTEUSVAIHTELUN
VÄHENTÄMINEN

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikka

KALLIOMÄKI, ESSI

Kuivatun sahatavaran loppukosteus ja kosteusvaihtelun vähentäminen

Opinnäytetyö

35 sivua + 14 liitesivua

Työn ohjaajat

Lehtori Olavi Liukkonen

Tuotantopäällikkö Jaakko Huttunen

Toimeksiantaja

Keitele Timber Oy

Huhtikuu 2015

Avainsanat

sahatavara, kosteuspitoisuus, kuivaus, kosteusvaihtelu

Opinnäytetyössä tutkittiin kuivatun sahatavaran kosteusvaihtelua Keitele Timber Oy:n kuivaamon ja tasaamon välillä sekä etsittiin keinoja kosteusvaihtelun vähentämiseksi. Kosteuden vaihtelun vähentämisellä voitaisiin tehostaa työvaiheita, karsia uudelleenkuivauksia ja vähentää asiakkailta tulevia reklamaatioita vaihtelevaa sahatavaran loppukosteutta koskien.

Työssä kerrotaan sahatavaran tuotannon ja kuivauksen pääperiaatteet sekä esitellään käytännön toimet Keiteleen sahalla. Opinnäytetyön tärkeimpinä tietolähteinä olivat kosteusseuranta kuormista koekappaleiden avulla ja työntekijöiden haastattelut. Tutkittavat koekuormat valittiin asiakaspalautteen sekä ongelmallisten ja usein suurta kosteusvaihtelua sisältävien dimensioiden mukaan. Koekuormien kosteus mitattiin tuoreena, kuivauksen jälkeen ja tasaamalla paketoinnin yhteydessä.

Työn tulokset osoittavat, että loppukosteusvaihteluun vaikuttavat erityisesti ohuen sahatavaran tuorekosteuden vaihtelu ja paksun sahatavaran tasaannutusaika. Tuloksia hyödyntäen ja jatkotoimenpide-ehdotuksia noudattamalla pystytään jatkossa kiinnittämään huomiota kuivauksen ongelmakohtiin ja kehittämään kuivauksessa käytettäviä työtapoja. Näin on mahdollista saavuttaa tasaisempi loppukosteusjakauma sekä vähentää uudelleenkuivauksia ja asiakasreklamaatioita.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

KALLIOMÄKI, ESSI

Final Moisture Content of Dried Timber and Reduction of
Its Variation

Bachelor's Thesis

35 pages + 14 pages of appendices

Supervisors

Olavi Liukkonen, Lecturer

Jaakko Huttunen, Production Manager

Commissioned by

Keitele Timber Oy

April 2015

Keywords

sawn timber, moisture content, drying, moisture variation

The aim of this thesis was to examine the moisture contents of sawn timber between the dry kiln and the trimming unit in Keitele Timber Oy and to find solution to reducing the moisture content variation. The reduction of the moisture content variation of sawn timber would help to increase the efficiency of the process phases and to decrease the need for re-dryings and the number of customer reclamations that result from the varying end moisture content of the sawn timber.

This thesis explains the principles of sawmill production and drying of sawn timber, and demonstrates the practices of Keitele sawmill. The main sources of information for the thesis were moisture content measurements of test pieces and interviews with the mill operators. The tested kiln load was selected so that it contained the timber receiving the most customer reclamations, and the timber often found to be problematic and have high moisture content variation. The moisture content measurements of the tested kiln load were made when the timber was fresh, after drying, and in the trimming unit during the packing of the product.

The results show that the variations of the end moisture content are especially affected by the variation of moisture contents of fresh thin timber and by the curing times of thick timber. When these results are taken into account and the suggested actions are followed, it is possible to address the problematic steps of the drying process and develop the working practices. By these actions, more even end process moisture contents can be achieved, and the number of re-dryings and customer reclamations can be decreased.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	KEITELE GROUP OY	7
2.1	Tuotanto	8
2.2	Markkinat	9
3	SAHATAVARAN TUOTANTOPROSESSI	9
3.1	Tukit	10
3.2	Sahaus	11
3.3	Kuivaus	11
3.4	Lajittelu ja paketointi	12
4	SAHATAVARAN KUIVAUS	14
4.1	Puun kosteus	14
4.2	Puun ja sahatavaran kuivuminen	15
4.3	Kuivauksen optimointi	15
4.4	Kuivaamotyytit	16
4.5	Kuivausviat	17
5	KUIVAUS JA KOSTEUSSEURANTA KEITELEEN SAHALLA	19
5.1	Kuivaus	19
5.2	Loppukosteuden seuranta	20
5.2.1	Mittaus kuivaamolla	20
5.2.2	Mittaus hissillä	20
5.2.3	FMI kontaktiton in-line -mittaus	21
5.3	Havaitut ongelmat	22
6	TUTKIMUSTYÖ	22
6.1	Koekuormat ja koekappaleet	23
6.2	Tiedon keruu	23

7	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	24
7.1	Tulokset	25
7.2	Tulosten tarkastelu	28
7.3	Tulosten luotettavuus	29
8	JATKOTOIMENPITEET	30
9	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	
	Liite 1. Kuusen koekuormien mittapöytäkirjat	
	Liite 2. Männyn koekuormien mittapöytäkirjat	

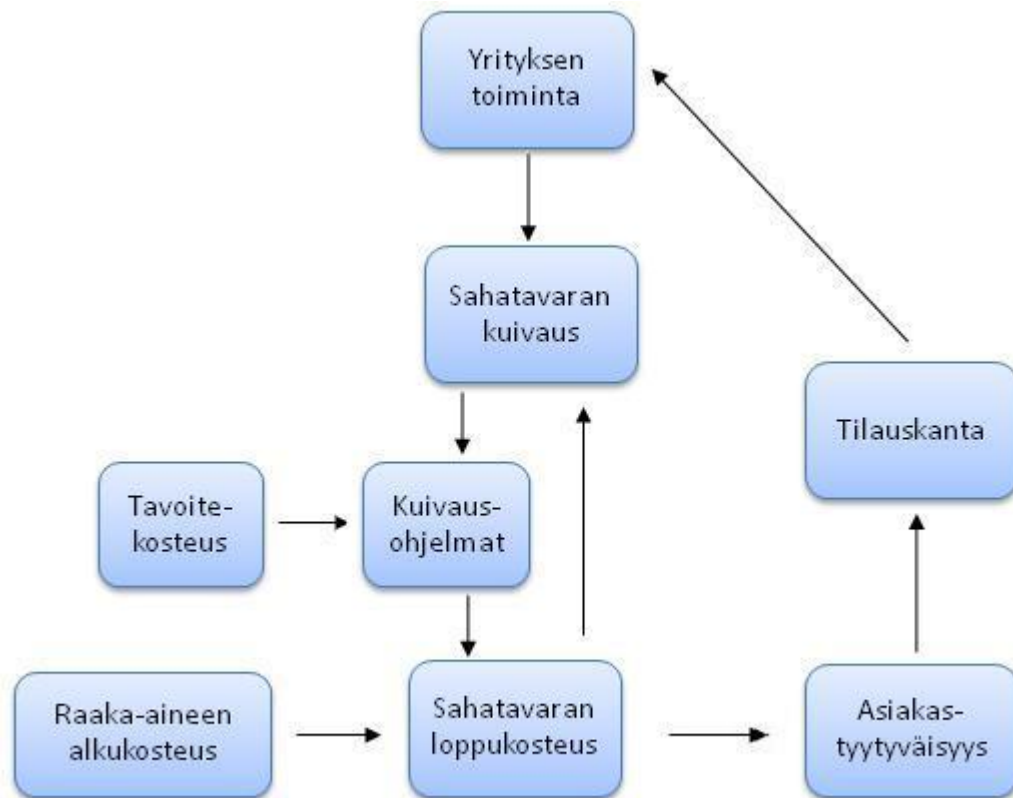
1 JOHDANTO

Kiristyvässä taloustilanteessa jokainen yritys arvioi omaa kustannustehokkuuttaan ja haluaa tehostaa tuotantoaan karsimalla ylimääräisiä työvaiheita pois. Keitele Group Oy on omilla investoinneillaan pystynyt ehkäisemään taantuman vaikutuksia, mutta nykyisten työprosessien ongelmakohtia on selvitettävä tehokkaamman tuotannon takaamiseksi. Näin myös vapautuisi enemmän resursseja uusien investointien käyttöön.

Opinnäytetyössä tutkittiin kuivatun sahatavaran kosteusvaihtelua Keiteleellä Keitele Timber Oy:n kuivaamolla ja tasaamalla. Tavoitteena oli etsiä syitä sahatavaran kosteusvaihteluihin ja löytää keinoja vaihtelun vähentämiseen. Kosteuden vaihtelua vähentämällä työvaiheita voitaisiin tehostaa, kun uudelleenkuivauksia saataisiin karsittua pois. Samalla liian kosteasta sahatavarasta johtuvat asiakasreklamaatiot vähenisivät.

Tärkeimpänä lähteenä opinnäytetyössä oli tarkan kosteuden tutkiminen koepaloista punnitusmenetelmällä. Tutkittavat koekuormat valittiin asiakaspalautteen sekä ongelmallisten ja usein suurta kosteusvaihtelua sisältävien dimensioiden mukaan. Koemittauksia tehtiin kuudesta ja männystä yhteensä 14 koekuormasta. Koekuormien kosteus mitattiin tuoreena, kuivauksen jälkeen ja paketoinnin yhteydessä. Työssä merkittävässä osassa olivat myös työntekijöiden haastattelut sekä alan kirjallisuus.

Opinnäytetyön viitekehys on esitetty kuvassa 1. Työn painopiste sijoittui sahatavaran kosteuspitoisuuteen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Liian kuivassa sahatavarassa esiintyy usein kuivausvirheitä, ja liian kostea sahatavara joudutaan kuivaamaan uudelleen. Jotta näitä ongelmakohtia voitaisiin vähentää, olisi kiinnitettävä huomiota alkukosteuteen, kuivausohjelmiin ja mittatarkkuuteen. Jos loppukosteudet saataisiin lähelle tavoitekosteutta, ei ylimääräisiä työvaiheita tarvittaisi ja asiakkaat saisivat tilaamaansa sahatavaraa ajallaan. Tyytyväisten asiakkaiden kautta tilauskanta pysyisi vakaana ja yrityksen toiminta kannattavana.



Kuva 1. Viitekehys

2 KEITELE GROUP OY

Keitele Group Oy on pohjoissavolainen perheyritys, joka perustettiin Keiteleelle vuonna 1981. Keitele Group on nopeasti kasvanut yhdeksi Suomen suurimmista sahatavaran tuottajista ja jalostajista. Keitele Groupin tuotantolaitokset sijaitsevat Keiteleellä Pohjois-Savossa (kuva 2), Alajärvellä Etelä-Pohjanmaalla ja Kemijärvellä Lapissa. (Keitele Group 2014a.) Toimipisteiden sijainnin valinnassa on otettu erityisesti huomioon raaka-aineen saatavuus eli laajat metsävarat ja tulevan puuston kasvu. Keitele Group tuottaa vuodessa 520 000 m² sahatavaraa ja 220 000 m² jatkojalosteita. (Keitele Group Oy 2014g.)

Keitele Groupin emoyhtiönä toimii Keitele Forest Oy. Lisäksi Keitele-konsernin alle kuuluu neljä eri kokonaisuutta: Lappi Timber Oy, Keitele Timber Oy, Keitele Wood Products Oy ja Keitele Energy Oy. Lappi Timber tuottaa sahatavaraa ja jatkojalostaa sitä höylätavaraksi ja liimapuuksi. Keitele Timber keskittyy sahatavaratuotantoon, ja Keiteleellä sahatavaran jatkojalostus höylätavaraksi ja liimapuuksi tapahtuu Keitele Wood Products -nimellä. Keitele Energy vastaa sahojen yhteydessä olevien lämpölaitosten toiminnasta. (Keitele Group Oy 2014a.)

Konsernin liikevaihto oli vuonna 2013 133,4 milj. euroa. Liikevaihto kasvoi 16,5 % vuoteen 2012 verrattuna, mikä oli seurausta aikaisempien vuosien investoinneista tuotannon tehostamiseen ja käyttöasteen parantamiseen. (Keitele Group Oy 2014g.) Keitele Group työllistää noin 350 henkilöä, ja hallituksen puheenjohtajana toimii Ilkka Kylävainio (Keitele Group Oy 2014a).



Kuva 2. Ilmakuva Keitele Group Oy:n Keiteleen tuotantolaitoksesta. (Keitele Group Oy 2014a)

2.1 Tuotanto

Keiteleen sahalaitos on yksi Suomen suurimmista tuotantolaitoksista. Keiteleen yksikön tuotannosta on 60 % kuusta ja 40 % mäntyä. Sahatavara toimitetaan lajiteltuna ja kuivattuna joko laivaus- tai erikoiskuivaksi. (Keitele Group 2014c.) Keiteleen jatkojalostuslinjoista höylä- ja katkaisulinja aloitti toimintansa vuonna 1999 ja liimapuupalkkitehdas vuonna 2005 (Keitele Group Oy 2014f). Höylälinjalla toimii myös sormijatkoslinja, minkä avulla saadaan tehtyä asiakaslähtöisesti määrämittäisiä ja -muotoisia puuaihioita (Keitele Group Oy 2014d).

Alajärven sahan (ent. Myllyahon saha) tuotanto alkoi vuoden 2013 joulukuussa. Alajärven sahalla tuotannosta 100 % on mäntyä, ja suurin osa sahatavarasta toimitetaan Keiteleelle jatkojalostukseen. (Keitele Group Oy 2014d.) Keitele Forest Oy hankkii puuraaka-aineen niin Keiteleen kuin Alajärven sahoilta (Keitele Group Oy 2014a). Lappi Timber Oy Kemijärvellä aloitti tuotannon vuoden 2014 joulukuussa. Kemijärven sahan yhteydessä toimii myös höyläämö, ja tuotteet valmistetaan pääasiallisesti Kaukoidän markkinoille. (Keitele Group Oy 2014b.)

Sahatavaran valmistuksen yhteydessä syntyvistä sivutuotteista osa hyödynnetään Keitele Energyn lämpölaitoksilla, joita Keiteleen sahan alueella on kolme. Lämpölaitokset tuottavat kaiken tarvittavan lämmön Keiteleen tuotantolaitoksen alueella. Keitele Energyn lämpölaitoksista hyöttyy myös Keiteleen kunta, sillä lämpölaitokset on liitetty Keiteleen kaukolämpöverkkoon. (Keitele Group Oy 2014e.)

2.2 Markkinat

Keitele Group Oy:n päämarkkina-alue on ulkomailla, ja viennin osuus on yli 90 % tuotannosta. Tuotteita toimitetaan 31 maahan ja päämarkkina-alueet ovat Japani, muu Kaukoitää, Pohjois-Afrikka ja Eurooppa. Aasiassa erityisesti vienti Kiinaan on kasvanut. Japanissa kysyntään vaikuttaa eniten puuasuinrakennusmarkkinat, mutta kysynnän uskotaan nousevan kestäväen kehityksen ja ekologisuuden trendin mukana. (Keitele Group Oy 2014g.)

Puuasuinrakennukset ja puutuotteiden kysyntä ovat nousussa myös Euroopassa Saksassa ja Isossa-Britanniassa, mutta näiden vaikutus liikevaihtoon on vielä vähäinen. Taloudellisia hyötyjä tavoiteltaessa myyntiä suunnataan erityisesti Pohjois-Afrikkaan ja Aasiaan. Suurimman epävarmuustekijän vientiin tuo arabimaiden poliittinen tilanne. (Keitele Group Oy 2014g.)

3 SAHATAVARAN TUOTANTOPROSESSI

Sahatavara on yleisnimitys puutavaralle, joka on sahattu vähintään neljältä sivulta. Sahatavaran koko ilmoitetaan mittoina paksuus (mm) x leveys (mm), ja yleisesti koosta käytetään nimitystä dimensio. Sahe tarkoittaa yhtä sahatavarakappaletta. (Sipi 2006: 67–68.)

Suomessa sahatavaraa tuotetaan vuosittain noin 10 miljoonaa m³. Vaikka kotimaan kulutus on pysynyt samana, on viennin osuus kasvanut viime vuosina ja mahdollistanut myös sahatavaran tuotannon kasvun. Puutuoteteollisuus työllistää Suomessa noin 23 000 henkilöä. (Metsäntutkimuslaitos 2014: 213, 289.)

Sahatavaratuotannon käyttösuhte on keskimäärin 2,0–2,2 kiintokuutiometriä (k-m³), eli yhden sahatavarakuution valmistamiseksi tarvitaan 2,0–2,2 k-m³ raaka-ainetta (Sipi 2006: 24). Käyttösuhteena tämä on melko alhainen, joten raaka-aine tulisi hyödyntää

mahdollisimman tarkkaan raaka-ainekustannuksien pysyessä vakiona. Sahatavaratuotannossa syntyy aina sivutuotteina haketta, purua ja kuorta, jotka mahdollisuuksien mukaan hyödynnetään esimerkiksi lämmön tuotantoon.

Sahojen kehitys on alkanut Saksassa 1300-luvulla ja 1800-luvun höyrysahojen kautta kehitys on kulkenut 1900-luvun sähkösahoihin, mikä on mahdollistanut sahateollisuuden modernisoinnin (Sipi 2006: 9–11). Tärkeimpänä kehityksen kohteena on ollut erityisesti nopeuden nostaminen, mikä on mahdollistanut huomattavan tuotannon lisäämisen. Useita työvaiheita on edelleen automatisoitu 2000-luvulla. Talouden taantuma on myötävaikuttanut prosessien tehokkuuden ja virheettömyyden kehittämässä ja ylimääräisiä työvaiheita on pyritty karsimaan. Nykysahojen tärkeimpiä tavoitteita lieenee kustannustehokas ja laadukas sahatavaran tuotanto.

3.1 Tukit

Jo metsässä kaadon yhteydessä tehdään tukkivalintaa. Hakkuun suorittaja valitsee paikan päällä rungoista sahaukseen kelpaavat tukit ostajan ohjeiden mukaan. Sahauskelvottomien tukkien yleisimpiä vikoja ovat mutkat, oksaisuus, laho ja korot (Laitinen 1986: 38). Rungot voidaan hakkuupaikalla myös katkoa haluttuihin tukkipituuksiin ja näin maksimoida korkealaatuisen, täysmittaisen sahatavaran saanti (Sipi 2006: 45).

Tukkien vastaanoton sahalli määrittävät kuljetus- ja varastointitapa. Niin vesi- kuin maakuljetuksesta tulevia tukkinippuja voidaan varastoida maalla ja vedessä. (Sipi 2006: 49.) Varastointi tapahtuu nykyään pääosin tukkikentällä, sillä se koetaan tarkoituksenmukaisemmaksi kuin vesivarastointi, koska kuljetus tapahtuu pääasiassa maateitse (Pelkonen 1986: 53). Tukit kuoritaan ennen sahausta, sillä sahauksesta sivutuotteena syntyvä hake ei saa sisältää kuorta ja kuori voisi vahingoittaa sahan teriä sekä aiheuttaa häiriöitä kuljettimissa. Kuori voidaan hyödyntää esimerkiksi energiatuotantoon. Tukeista myös sievennetään tyvilaajentumat ennen sahausta. (Sipi 2006: 53–55.)

Tukit mitataan ja lajitellaan, jotta jokaiselle tukille voitaisiin määrittää optimaalinen sahaustapa. Mittauksissa tukista tarkastetaan pituus, läpimitta, kartiokkuus, lenkous, tilavuus ja laadullisia ominaisuuksia vikojen avulla. Mittaus ja lajittelu tapahtuvat erilaisilla kameratekniikoilla, kuten laserilla. Erilaiset mittausvälineet takaavat tarkan määritelmän ja mahdollistavat korkean sahatavarasaannin. Tarkan mittauksen ja laa-

dutuksen avulla voidaan tukit ohjata sahaukseen siten, että valmistettavan sahatavaran saanto ja arvo ovat mahdollisimman korkeat. (Pelkonen 1986: 58–63.)

3.2 Sahaus

Sahauksen tavoitteena on saada tukista mahdollisimman paljon laadukasta sahatavaraa eri käyttökohteisiin. Sahauksen lisäksi sahatavaraa särmätään vajaasärmän poistamiseksi ja laadun parantamiseksi. (Sipi 2006: 67.) Sahausohjelmat tehdään jokaiselle tukkiluokalle etukäteen parhaan saannon varmistamiseksi. Sahausohjelma määrittää myös asetteen, eli terien etäisyyden toisistaan. Asete siis määrää, minkä kokoisia sahatavarakappaleita tukista sahataan. Sahausohjelman teossa ja asetteen määrittelemisessä tulee ottaa huomioon myös kuivauksesta aiheutuva kappaleen kutistuminen ja ennakoita kuivausvara alimittaisten kappaleiden minimoimiseksi. (Sipi 2006: 69.)

Suomessa tukit sahataan yleensä neli- eli pelkkasahauksen mukaisesti. Siinä tukki sahataan ytimen kanssa yhdensuuntaisesti ja sahaus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensinnä tukista sahataan pelkka, eli tukin molemmin puolin sahataan sivulautoja. Sen jälkeen pelkkaa käännetään 90°, jolloin siitä voidaan sahata keskikappaleet halutun paksuisiksi täyssärmäisinä. Sivulaudat voidaan särmätä sahausohjelman mukaisesti. (Sipi 2006: 71.)

3.3 Kuivaus

Sahauksen jälkeen sahatavarakappaleet lajitellaan dimensiolajittelussa dimension mukaan lokeroihin, jotka myöhemmin rimoitetaan (Opetushallitus 2013). Dimensiolajittelu tehdään, sillä kuivaus tapahtuu jokaisen dimension mukaan omilla ohjelmilla. Kappaleet yleensä myös tuorelajitellaan laatujen mukaan, mikä niin ikään huomioidaan kuivausohjelmien teossa. Dimensio- ja tuorelajittelulla mahdollistetaan kuivaamokapasiteetin optimointi ja laadukas kuivaustulos. (Sipi 2006: 103–104.)

Suurin osa sahatavarasta markkinoidaan kuivattuna. Tasainen kuivaustulos edellyttää, että sahatavara on dimensio huomioiden rimoitettu, jotta sahatavaraa kuivatessa ilma pääsisi tasaisesti kulkemaan kappaleiden ympärillä. Rimoitus tapahtuu automatisoidulla rimoituskoneella, jossa joka lautakerroksen väliin lasketaan välirimat. Rimakuormat ovat valmiina 4–6 metriä korkeita (kuva 3). Mitä korkeampi rimakuorma on, sitä tehokkaampaa ilmankiertoa kuivaamolta vaaditaan. (Riikonen 1986: 96–97.)



Kuva 3. Rimoitettu sahatavarakuorma, johon on merkitty kuorman numero, dimensio, puulaji ja laatu.

Sahatavara kuivataan säilyvyyden, käytettävyyden ja ominaisuuksien parantamiseksi. Sahatavara voidaan kuivata käyttötarkoituksen mukaiseen kosteuteen, sillä sahatavaran kosteus vaikuttaa sen jatkojalostusominaisuuksiin, kuten lujuusominaisuuksiin, työstettävyyteen ja liimattavuuteen. Kuivauksen tavoitteena on kuivata kaikki rimakuormassa olevat kappaleet samaan kosteuteen. (Sipi 2006: 113.) Sahatavara kuivataan kuivaamoissa, joissa kuivausohjelmat ovat usein dimension ja tavoitekosteuden mukaan automatisoituja.

3.4 Lajittelu ja paketointi

Kuivatut rimakuormat puretaan varastokuljettimille kallistuvan hissillä avulla, ja samalla välirimat poistuvat sahatavaran joukosta. Sahatavara kulkeutuu tasattavaksi ennen laatulajittelua. Tasauksessa sahatavaran päät siistitään ja sahatavara katkaistaan määrämittäisiin, eli moduulimittoihin. Tasatut saheet laatulajitellaan asiakkaan toiveiden ja yleisten laatuvaatimusten mukaisesti. Lajittelu tapahtuu usein konenäön avulla, mutta lajittelija on päävastuussa sahatavaran laadusta. Lajittelija määrää kappaleen lopullisen mitan, sillä katkaisulla voidaan vaikuttaa laatuun. (Sipi 2006: 140–142.)

Sahatavara myydään joko trukki- tai pituuspaketteina. Pituuspaketissa on yhtä dimensiota, yhtä laatua ja vain yhtä pituutta. Trukkipaketti sisältää yhden dimension ja yhden laadun lisäksi montaa moduulipituutta. Pituuslajittelu on yleistä isoilla sahoilla, joilla sahattavat erät ovat suuria. Pituuden mukaan lajittelu tapahtuu laatulajittelun jälkeen. (Sipi 2006: 151.) Sahatavara voidaan lajitella myös lujuuden mukaan asiakkaan toiveesta, sillä lujuus vaikuttaa sahatavaran käyttöön. Lujuuslajittelu tapahtuu joko visuaalisesti tai koneellisesti.

Lajitellut kappaleet kulkeutuvat jokainen omaan lokeroonsa laadun ja pituuden mukaan. Jokaiseen lokeroon kertyy yksi paketti. Kun lokero on täynnä, eli sisältää ennalta määritetyn määrän kappaleita, lokero tyhjenee ja saheet siirtyvät paketointiin. Paketoinnissa saheiden päädyt leimataan laivausmerkillä ja paketoidaan noin 1 m x 1 m kokoisiksi paketeiksi. Paketit puristetaan tiiviiksi ja sidotaan metallivantein, jotta paketti on jämäkkä ja helpompi kuljettaa.

Paketin kylkeen leimataan paketin tietoja, usein dimensio, laatu, pituus ja juokseva paketinumero. Paketit suojataan asiakkaan toiveiden tai jatkojalostuksen mukaan (kuva 4). Yleensä paketti suojataan muovihupulla, jotta voitaisiin välttää varastoinnissa ja kuljetuksissa tulevia vikoja tai vaurioita. Paketin mukaan tulostetaan pakettisetti, joka sisältää paketin tiedot ja helpottaa varastointia, kuljetusta ja myös inventaariota. Valmiit paketit siirretään varastoihin odottamaan lähetystä tai kuljetetaan suoraan jatkojalostukseen.



Kuva 4. Valmiita paketteja suojattuina asiakkaiden toivomilla tavoilla.

4 SAHATAVARAN KUIVAUS

Puu on hydroskooppinen materiaali, eli se pyrkii kosteustasapainoon ympäristönsä kanssa. Puun ominaisuuksiin kuuluvat myös muodonmuutokset kosteuden vaihdellessa, mitä kutsutaan puun anisotropiaksi. Puu kutistuu eri suunnissa eri tavoin. Kutistumisen ja muodonmuutosten takia puu ja sahatavara on kuivattava siihen kosteuteen, missä ne lopputuotteena tulevat asettumaan. (Mynttinen 1978: 12.) Puun kuivaus on tärkeää myös puun ominaisuuksien takia, sillä kuivaus parantaa säilyvyyttä ja ehkäisee esimerkiksi hometta ja sinistymiä sekä parantaa huomattavasti lujuutta, jäykkyyttä, liimattavuutta ja muuta työstettävyyttä (Pratt 1986: 1).

4.1 Puun kosteus

Sahatavaran kosteus tunnetaan myös nimellä kosteuspitoisuus, mikä tarkoittaa puun sisältämän kosteuden määrää. Kosteuspitoisuus ilmoitetaan veden massan suhteena kuivan puuaineen massaan, eli kosteuspitoisuus voi olla prosenteiksi muutettuina yli 100. (Pratt 1986: 1.) Puun kosteussuhteen laskemiseen käytetään kaavaa 1.

$$\text{Puun kosteussuhde} = \frac{\text{puussa olevan veden massa}}{\text{puun kuiva-aineen massa}} \quad (1)$$

Puun kosteutta mitataan teollisuudessa yleensä vastusmittareilla eli puuhun lyötävillä piikkimittareilla. Piikkimittari mittaa kosteuden puun sisälle lyötävien elektrodien välillä sähkövastuksen ja puun ominaisuuksien avulla. Piikkimittaria käytettäessä tulee huomioda, että se soveltuu mittaamiseen vain, kun kosteus vaihtelee välillä 7–28 %. Jotta mittaustulos on tarkka, on puulajin ja puun lämpötilan oltava tiedossa, sillä eri lämpötiloissa ja eri puulajeilla kosteuden ja sähkövastuksen suhde on erilainen. (Sipi 2006: 114.)

Tarkin keino selvittää puun kosteus on punnitusmenetelmä. Punnitusmenetelmää voidaan käyttää kaikissa kosteusolosuhteissa, eikä siihen vaikuta puun lämpötila. Menetelmässä sahatavarakappaleesta otetaan koepala, joka punnitaan tarkasti. Punnituksen jälkeen koepala kuivataan kuivauskaapissa absoluuttisen kuivaksi noin 103 °C:ssa, minkä jälkeen koepala taas punnitaan. Näiden punnitustulosten perusteella voidaan laskea puun kosteuspitoisuus prosenteina (kaava 2). (Nenonen 2011: 16.) Punnitusmenetelmä on hidas, joten se soveltuu lähinnä testeihin ja tarkastuksiin.

$$\text{Puun kosteuspitoisuus (\%)} = \frac{\text{alkupaino} - \text{kuivapaino}}{\text{kuivapaino}} \times 100 \quad (2)$$

Puun kosteutta mitataan usein myös tuotantolinjassa jatkuvatoimisella ja kosketuksettomalla mittarilla. Nämä linjassa toimivat kosteusmittarit sijaitsevat sahalaitoksissa yleensä tasaamolla. Kosketuksettomassa mittauksessa saheet kulkevat antureiden päältä, jolloin jokaisen saheen keskikosteus saadaan mitattua. Kosteuksista ja kosteusvaihtelusta tallentuu automaattisesti tilastoja, jotka ilmoittavat kuormien keskikosteuden ja märkien saheiden paikat kuormissa. Tällaisten linjassa sijaitsevien kosteusvahtien kautta voidaan kuormista erotella liian kosteat kappaleet esimerkiksi uudelleen kuivataviksi. (Juntunen 2015.)

4.2 Puun ja sahatavaran kuivuminen

Puun soluissa vesi on joko sitoutuneena soluseinämiin tai vapaana vetenä soluontelossa. Puuaineen kuivuessa vapaa vesi poistuu ensin soluontelosta. Sitä pistettä, jossa soluontelosta on poistunut kaikki vesi, mutta soluseinämissä on maksimaalinen määrä vettä, kutsutaan puun syiden kyllästymispisteeksi (PSK). Kosteus on tällöin 28–32 % puulajista ja lämpötilasta riippuen. Kuivumisen jatkuessa kyllästymispisteen alapuolella puu alkaa kutistua. (Metlas Ky 1990: 40.)

Sahatavaraa kuivatessa kuivaaminen jakautuu veden haihtumiseen puun pinnalta ja veden siirtymiseen puun sisältä kohti pintaa (Metlas Ky 1990: 40). Sahatavaran pintaosat kuivuvat melko nopeasti, ja sisä- ja pintakosteuksien erot voivat olla suuria. Nämä erot kuitenkin tasoittuvat kuivauksen edetessä, sillä puu pyrkii tasaamaan sisäisiä kosteuserojaan, mutta hidastaa kuivausta. Kuivauksessa soluonteloiden vapaa vesi voi poistua nopeasti sahatavarasta, mutta soluseinämiin sitoutunut vesi poistuu hitaammin. Poistuminen kestää sitä kauemmin, mitä paksumpaa sahatavara on ja mitä alempi on tavoitekosteus. Veden poistumiseen vaikuttavat myös puulaji, tiheys, veden siirtymissuunta ja lämpötila. (Sipi 2006: 119.)

4.3 Kuivauksen optimointi

Kuivauksen onnistumiseksi on ymmärrettävä asiat, jotka vaikuttavat puun kuivaukseen. Mitä lämpimämpää kuivausilma on, sitä nopeammin puu kuivuu. Jotta puusta haihtuva vesi kulkeutuisi pois kuivauskuormista, on kuivausilman kiertonopeuden ol-

tava tarpeeksi suuri. Kuumen ilman kiertäessä puu saattaa kuitenkin kuivua liian nopeasti. Tätä ehkäistään ilman suhteellista kosteutta lisäämällä. Ilma ei kuitenkaan saa olla liian kosteaa, jotta kuivumisprosessi ei pitkity liikaa ja aiheuta liiallisia kuivauskustannuksia. (Sipi 2006: 119–120.)

Mitä tiheämpää puu on, sitä hitaammin se kuivuu. Puun tiheysvaihtelu ilmenee tukeissa niin, että tyvitukit ovat tiheämpiä kuin latvatukit. Sama tiheysero toistuu tukeista sahattujen kappaleiden välillä. Sahatavarakappaleen paksuus vaikuttaa kuivaukseen siten, että paksun kappaleen kuivausaika on suhteellisesti pidempi kuin ohuen kappaleen kuivausaika. Alku- ja tavoitekosteudet vaikuttavat kuivausaikaan niin, että mitä korkeampi on alkukosteus ja mitä alhaisempi on loppukosteus, sitä pidempään kuivaus kestää. (Nenonen 2011: 20.)

Kuivauksen tavoitteena on kuivata sahatavara mahdollisimman lyhyessä ajassa tavoitekosteuteen siten, että syntyy mahdollisimman vähän kuivausvikoja ja että energiankulutus on mahdollisimman pieni. Hyvään lopputulokseen pääsemiseksi kuivaamon ohjauksessa käytetään kuivauskaavojen avulla simuloituja kuivausohjelmia. Kuivauskaava määrittelee ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuivauksen aikana. Kuivauskaava suunnitellaan yleensä ajan funktiona, ja kuivauskaavasta ilmenevät myös ilmankiertonopeudet. Kuivauskaavaan vaikuttavat puulaji, dimensio, alku- ja tavoitekosteus sekä käytettävä kuivaamotyyppi. (Sipi 2006: 129–130.)

Sahatavara kuivataan lähes aina automatisoiduissa kuivaamoissa. Jotta kuivauksessa päästäisiin haluttuun lopputulokseen, on kuivaamoihin simuloitava kuivausohjelma kuivauskaavoja käyttäen. Kuivausohjelma huomioi kuivauksen eri vaiheet ja vaihtelee automaattisesti lämpötiloja, ilman suhteellista kosteutta ja ilmankiertonopeuksia. Kun kuivausohjelmat toimivat automaattilla, on kuivaamon teknistä kuntoa tarkasteltava tarpeeksi usein, jotta virheellisiltä kuivaustuloksilta välttyttäisiin. Kuivaamonhoitajan tulisikin aktiivisesti seurata kuivauksien etenemistä ja tarvittaessa korjata kuivausohjelmia. (Salminen 2015.)

4.4 Kuivaamotyypit

Ennen koneellista keinokuivausta sahatavara kuivattiin lautatarhoissa 1960-luvulle saakka. Lautatarhojen ongelmana ovat kuivauksen hitaus ja liian korkeat loppukosteudet. Lautatarhoissa on mahdollista saavuttaa 15–25 % loppukosteus, mutta se voi vie-

dä aikaa yhdestä kahdeksaan kuukauteen. Lautatarhakuivausta käytetään nykyään lähinnä kenttäsiirteiden yhteydessä ja silloin, kun varsinaista kuivaamoa ei ole käytössä. (Metlas Ky 1990: 42.)

Suomessa yleisin keinokuivausmenetelmä on lämminilmakuivaus. Kuivaamot jaotellaan täyttö- ja tyhjennystavan perusteella kertatäyttöisiin kamarikuivaamoihin ja jatkuvatoimisiin kanavakuivaamoihin. Kamarikuivaamot täytetään kerralla ja kuivauksen päätyttyä koko kamari tyhjennetään. Kanavakuivaamon toiminta on jatkuvaa, jolloin kuivattavat kuormat laitetaan kuivaamoon toisesta päästä ja kuivat kuormat poistetaan kuivaamon toisesta päästä. Kanavakuivaamossa on jatkuvasti kuivausohjelma päällä, ja kuormat liikkuvat märästä päästä kuivaan päähän sitä mukaa, kun kuormat kuivuvat. Kamarikuivaamoiden etuna on yksilöllinen ja hyvin hallittu kuivaus, joka takaa tasaisemman ja tarkemman asiakaskohtaisen kuivaustuloksen. Kanavakuivaamon etuna on sen korkea kapasiteetti ja nopeatahtinen kuivaus. Kamarikuivaus soveltuu erikoiskuiville erille ja paksummille dimensioille, joiden kuivaus- ja tasaannutusajat ovat pitkiä. Kanavakuivaamot soveltuvat erinomaisesti nopeasti kuivuville laudoille, joiden haluttu loppukosteus on 16–18 %. (Sipi 2006: 124–127.)

Lisäksi on useita kuivauksen erikoismenetelmiä, kuten lauhdutin- ja alipaine kuivaus, jotka soveltuvat tiettyihin tarpeisiin tavallisia kanava- ja kamarikuivaamoita paremmin. Lauhdutinkuivaamo toimii niin ikään lämminilmakuivaustekniikalla, mutta puusta ilmaan haihtunut kosteus poistetaan kuivaamosta vetenä. Poistuvan höyryn tiivistyessä saadaan kerättyä talteen huomattava määrä energiasta, joka käytettiin puusta haihtuvan veden höyrystämiseen. Lauhdutinkuivaamo soveltuu erityisesti pienille sahoille, joiden ei ole taloudellisesti kannattavaa rakentaa omaa lämpölaitosta. (Sipi 2006: 128.) Alipaine kuivaamossa kuivaus tapahtuu suljetussa kammiossa, josta ilma poistetaan pumppujen avulla. Kammio lämmitetään ja alipaineen avulla puusta höyrystyy vettä alhaisemmissa lämpötiloissa. Kuivauksen aikana lämpötilaa ja alipainetta säädelään halutun loppukosteuden saavuttamiseksi. Alipaine kuivaus soveltuu erityisen hyvin vaikeasti kuivattaville puulajeille, kun tavoitteena ovat alhaiset loppukosteudet ja korkea laatu. (Metlas Ky 1990: 70.)

4.5 Kuivausviat

Kuivausviat tarkoittavat kuivauksesta aiheutuvia sahatavaran muutoksia, jotka vaikuttavat sahatavaran laadun ja arvon alenemiseen. Kuivausvikojen syntyä voidaan eh-

käistä suunnittelemalla kuivausohjelmat oikein ja tarkastaa ne kuivauskuormakohtaisesti. Kuivausvikojen syntyyn vaikuttavat väärin suoritettun kuivauksen, eli väärin suunnitellun kuivausohjelman lisäksi kuivaamon kunto, epätasainen alkukosteus, dimensio- ja laatuvaihtelut kuormassa sekä huolimattomasti rimoitetut kuivauskuormat. (Mynttinen 1978: 114.) Mitä kuivemmaksi sahatavara halutaan, sitä alttiimpaa sahatavara on kuivausvioille.

Halkeamat ovat yleisimpiä kuivausvirheitä, ja ne johtuvat liian kuivasta kuivausilmasta sekä liian suuresta ilmannopeudesta. Mitä paksumpaa sahatavaraa kuivataan, sitä useammin siinä esiintyy halkeamia. Halkeamat voivat syntyä joko sahatavaran pintaan tai sisään. Pintahalkeamat johtuvat liian suuresta pintakovuudesta, joka syntyy kuivauksen alkuvaiheessa, kun puun pinta kuivuu liian nopeasti. Pintakovuutta esiintyy varsinkin sahatavarassa, joka on kuivunut pinnasta jo ennen varsinaista kuivaamista. Voimakas pintakovuus lisää myös riskiä sisähalkeamille, jotka syntyvät kuivauksen myöhemmässä vaiheessa. Sisähalkeama syntyy, kun sisäosa alkaa kuivua ja aiheuttaa pintaan puristusjännitystä ja sisäosaan vetojännitystä. Suuri sisäosien kosteus ja pintakuivuus, eli vaihteleva kosteus sahatavaran osien välillä, lisää riskiä halkeamille. (Sipi 2006: 131–132.)

Vinosyisyys ja lyly aiheuttavat kuivatessa muodonmuutosvikoja. Varsinkin kutistumaerot saheiden pituussuunnassa aiheuttavat kappaleiden kieroutumista. Kuusi on usein alttiimpi muodonmuutosvioille kuin mänty. (Sipi 2006: 132–133.) Värivikoja syntyy sitä enemmän, mitä korkeampi kuivauslämpötila on. Pinnan ruskean sävyn väriviat poistuvat usein jatkokäsittelyssä. Myös sinistymää ja hometta saattaa syntyä ennen kuivausta, jos märkä tavara joutuu odottamaan kuivausta lämpimissä, kosteissa ja huonon ilmanvaihdon olosuhteissa. Pihkan sulamisesta johtuvat väriviat ovat yleisiä varsinkin männylle, mutta pihkavuotoja voidaan ehkäistä käyttämällä maltillisia kuivauslämpötiloja kuivauksen alkuvaiheessa. (Mynttinen 1978: 116.)

Epätasainen loppukosteus johtuu usein laajasta vaihtelusta tuorekosteuksissa tai kuivaamon huonosta ilmankierrosta. Epätasainen loppukosteus ilmenee kosteuden vaihteluna saheen pinnan ja sisäosan välillä, saheen pituussuunnassa, tai kuivauskuorman ja -erän eri saheiden välillä. (Sipi 2006: 134.) Liian kuivassa sahatavarassa ilmenee enemmän alamittaa, kieroutumaa ja halkeamia, ja siten sen käyttöarvo laskee. Liian kostean sahatavaran säilyvyys huononee, sillä märkä tavara on kuivaa tavaraa alttiim-

paa homeille ja sinistymälle. Myös myöhemmin tapahtuva sahatavaran kuivuminen aiheuttaa muodonmuutosvikoja ja vaikeuttaa jalostusta. (Mynttinen 1978: 115.)

Osa kuivausvioista, kuten halkeamat, oksien irtoaminen ja pihkavuodot, on näkyvissä heti kuivauksen jälkeen. Osa vioista, kuten sisähalkeamat, epätasainen loppukosteus ja märän tavaran homehtuminen, tulee näkyviin vasta myöhemmin jatkojalostuksessa. (Mynttinen 1978: 114.)

5 KUIVAUS JA KOSTEUSSEURANTA KEITELEEN SAHALLA

Keitele Timber Oy:n sahalla kuivaus toimii kolmessa vuorossa vuoden ympäri. Kuivauksen laatua seurataan aktiivisesti niin kuivaamalla kuin tasaamossa ennen pake-tointia. Loppukosteutta seurataan, jotta asiakkaille päätyisi sitä tavaraa, mitä heille on myyty. Kuivaamonvalvojat ja tasaamon hissityöntekijät suorittavat kosteusseurannan, ja seurantaraportit arkistoidaan mahdollisten myöhemmin ilmenevien eroavaisuuksien ja reklamaatioiden takia.

5.1 Kuivaus

Keiteleen sahalla on kahdeksan kanavakuivaamo, 18 kamarikuivaamo sekä kaksi lauhdutinkuivaamo. Kuivaamoiden vuotuinen kuivauskapasiteetti on noin 350 000 m³. Kaikkiin kamareihin ja kanaviin pystytään simuloimaan kuivausohjelmat. Kuivaamonhoitajat tekevät kuivausohjelmoinnin, mutta myös laitetoimittajalta on mahdollista saada apua kuivausohjelmien tekoon. Usein kuivattaville dimensioille käytetään samaa kuivausohjelmaa. Kun kuivaukseen tulee uusia dimensioita, tehdään kuivausohjelmat alusta asti ja alkukosteuksia mitataan. Muussa tapauksessa alkukosteuksia mitataan satunnaisesti. (Salminen 2015.)

Keiteleen sahalla kuivataan erikoiskuivista, kosteudeltaan jopa alle 10 %:n sahatavaraa aina 20 %:n kosteuden tavaraan. Erikoiskuiville erille loppukosteustoleranssi on ± 2 %, kun tavallisella laivauskuivatulla, kosteudeltaan 18 %:n sahatavaralla sallittu vaihtelu on 16–21 %. (Ivanov 2015.) Kuljetuksista ja varastoinnista johtuvaa kosteusvaihtelua syntyy aina, ja asiakkaalle saapuvan sahatavaran kosteusvaihtelu saa olla erikoiskuivalla 1–3 prosenttiyksikköä ja laivauskuivilla 5–10 prosenttiyksikköä verrattuna tavoitekosteuteen (Salminen 2015). Sahatavara kuivataan aina asiakkaan haluamaan kosteuteen laatuvaatimukset huomioiden.

5.2 Loppukosteuden seuranta

Kuivatun sahatavaran loppukosteuden seuranta on tärkeää, sillä seurannalla voidaan välttää liian kostean tai kuivan tavaran päätyminen lähetyspakettiin. Paketissa liian märkä sahatavara voi aiheuttaa home- ja sienivaurioita sekä sinistymää. Kun väärän kosteuden sahatavaraa päätyy asiakkaalle, voi sahatavara olla kelvotonta asiakkaan käyttötarpeisiin kosteuselämisen ja mittamuutosten takia. Liian märkä tavara voi olla paketissa pilaantunutta ja voi kutistua käytössä aiheuttaen esimerkiksi kieroutumaa. Liian kuiva tavara on yleensä alimittaista ja saattaa sisältää kuivausvaurioita, kuten si-sähalkeamia.

5.2.1 Mittaus kuivaamolla

Kuivaamonvalvojan vastuulla on mitata kuormien kosteudet kuivauksen jälkeen ja kirjata tulokset ylös. Kamarikuivaamojen kuormien kosteuksia mitataan myös kuivauksen aikana, jotta tavara ei kuivuisi liikaa tai kuivausta lopetettaisi liian aikaisin. Kuivaamolla mittaus tapahtuu piikkimittarilla heti kuorman tultua kuivaamosta, eli noin +60 °C lämpöisenä. Tämä täytyy ottaa huomioon ennen mittausta mittarin asetuksia säädettäessä.

5.2.2 Mittaus hissillä

Merkittävin jälkiseurantapaikka on tasaamon hissi, jossa seurataan kaikkein tiheimmin kuivauksen jälkeisiä kosteuksia; jokaisessa vuorossa tulisi puolen tunnin välein mitata kuormien kosteuksia 5–10 mittauksen verran, vaikka dimensio ei vaihtuisi. Mittaukset suoritetaan piikkimittarilla, ja mittaus suoritetaan kuvan 5 tavoin hissityöntekijän toimesta. Ennen mittaustilannetta tulee aina tarkistaa kuorman lämpötila, jonka mittausta varten hissillä on lasermitta. Piikkimittarista tulee tarkastaa piikkien eli elektrodien kunto, johdon kunto sekä patterin tarpeeksi korkea varaus. Myös puulajivalinnan tulee olla oikeassa asennossa oikeiden mittaustulosten varmistamiseksi.

Mittaukset tulisi suorittaa kuormien keskivaiheilta, sillä kuorman ala- ja yläosissa saheet ovat yleensä keskiosia kuivempia runsaamman ilmankierron takia. Mittaukset tulisi myös ottaa saheiden keskivaiheilta, koska saheiden päät ovat niitä kuivempia ja päistä mitattaessa kosteustulokset olisivat liian alhaisia. Hissityöntekijän työtehtäviin

kuuluu ilmoittaa työnjohtajalle, jos hissin kosteusmittauksissa ilmenee liian märkää tai liian kuivaa tavaraa. Näin työnjohto voi tarvittaessa laittaa FMI-kosteusvahdin päälle.



Kuva 5. Kosteusmittaus tasaamon hissillä.

5.2.3 FMI kontaktiton in-line -mittaus

Keitele Timber Oy:n tasaamolla on käytössä Brookhuis Applied Technologiesin valmistama kontaktiton FMI in-line -kosteusmittausjärjestelmä. Kosketuksettomassa mittauksessa saheet kulkevat kolmen kosteutta mittaavan anturin päältä, jolloin jokaisen saheen keskikosteus saadaan mitattua. Kosteuksista ja kosteusvaihtelusta tallentuu automaattisesti tilastot, jotka ilmoittavat kuormien keskikosteuden ja märkien saheiden paikat kuormissa. Kuormista voidaan erotella liian kosteat kappaleet uudelleen kuivataviksi. (Juntunen 2015.)

FMI-järjestelmä on aina tasaamolla päällä kosteustietojen keräämiseksi ja tilastojen tekemiseksi. Kosteuskappaleiden erottelemiseksi kosteusvahti tarvitsee erikseen käynnistää. Kosteusvahti laitetaan päälle silloin, kun märkiä kappaleita tulee huomattavasti. Hissityöntekijä ilmoittaa useista liian kosteista kappaleista työnjohdolle, jotta työnjohto voisi arvioida, onko märkien kappaleiden erilleen otto tarpeellista. Kaikille sahatavaraerille kosteusvahtia ei kannata asettaa, sillä jos erissä on vain muutama

märkä kappale, ne vievät turhaa tilaa lokeroilta eikä niitä olisi järkevää viedä uudeleenkuivattaviksi. (Juntunen 2015.)

5.3 Havaitut ongelmat

Huomautuksia epätasaisesta loppukosteudesta johtuen tulee lähes joka viikko, mutta reklamaatioita tulee harvoin. Niin märkää kuin kuivaa tavaraa kulkeutuu asiakkaille laiterikkojen sekä kuivaamon ja tasaamon valvonnan pettämisen takia (Heikkinen 2015). Kuivaamolla valvonnan pettämisen lisäksi myös kuormien kuivauskiireellä on vaikutusta (Salminen 2015). Kosteusvaihtelua esiintyy myös jo pelkästään kuivaamon ja tasaamon välillä.

Tasaannutusajat kuivauksen jälkeen ovat epätasaisia. Erikoiskuivalla sahatavaralla kuivausohjelmassa on noin 10 tunnin tasaannutus. Laivauskuivalla sahatavaralla ei ole kuivausohjelmassa tätä vaihetta, vaan tasaannutus tapahtuu tasaannutuskatoksessa kuivauksen jälkeen. Kaikkien kuormien tulisi kuitenkin jäähtyä ennen tasaamoa vähintään puoli vuorokautta. (Salminen, 2015.) Vaikka tasaamon ajojärjestelyitä laadittaessa pyritään huomioimaan kuivatut kuormat, kuivan pään raidetilanne ja erä koko, usein kiireellisten erien ajot menevät näiden edelle (Heikkinen 2015). Näin ollen kuivatut kuormat saattavat tulla lähes suoraan kuivaamosta ajoon, mutta aina pyritään huomioimaan, etteivät kuormat tulisi lämpiminä paketoitiin. Toiset kuormat odottavat useamman päivän, tai jopa useamman viikon ennen tasaamoon ajoon tulemistä.

6 TUTKIMUSTYÖ

Tutkimustyötä suunniteltiin yhdessä tuotantopäällikkö Jaakko Huttusen, kuivaamon työnjohtajan Toni Salmisen ja tasaamon esimiehen Asko Heikkisen kanssa. Tutkimustyöksi valittiin saman sahatavaradimension kosteuksien vertailu kuivaamon mittauksessa, tasaamolla hissin piikkimittauksessa sekä kosketuksettomassa in-line -mittauksessa. Tavoitteena oli tutkia loppukosteusvaihtelua ja etsiä kosteuserojen syitä sekä löytää ratkaisuja kosteusvaihtelun vähentämiseksi.

Tutkittaviksi dimensioiksi ja laaduiksi valittiin ne, joista joko huomataan kosteuden olevan sallittujen rajojen ulkopuolella jo tasaamolla tai saadaan useimmin reklamaatioita asiakkailta. Tutkittavia koekuormia valittiin yhteensä 14, joista seitsemän oli kuusta ja seitsemän mäntyä. Dimensiot vaihtelivat 19 x 100 ja 100 x 100 välillä ja si-

sälsivät laivauskuivaa, kosteudeltaan 18 % ja erikoiskuivaa, kosteudeltaan 12 % ja 14 % sahatavaraa. Näin saatiin tarpeeksi suuri otos ja vertailukanta. Tuoreen ja kuivatun sahatavaran tarkkaa kosteutta mitattiin ja tutkittiin koekappaleista punnitusmenetelmän avulla.

6.1 Koekuormat ja koekappaleet

Koekuormasta, joka sisälsi vain yhtä dimensiota, otettiin 10 koekappaletta jokaisessa mittauspisteessä. Näin otanta saatiin tarpeeksi suureksi. Yhden dimension koekappaleet otettiin aina samasta kuormasta, jotta pystyttiin parantamaan tulosten vertailukelpoisuutta. Kuormat on sahalla numeroitu, joten niiden etenemistä kuivaamosta paketointiin oli vaivatonta seurata tietokannoista. Jokaiseen koekuormaan tehtiin myös käsin merkki, jotta kuivaamon ja tasaamon tuotantotyöntekijät pystyivät seuraamaan selkeästi kuorman kulkua. Yhteistyö kuivaamon ja tasaamon työntekijöiden välillä olikin tärkeää, sillä koekuormien sijainti ja ajojärjestys täytyi olla tiedossa paketointia ja koepalojen mittauksia varten. Tarkoituksena oli mitata kosteutta siten, miten työntekijät normaalisti sitä mittaavat, ja vertailla mittauksien tuloksia todellisiin kosteuksiin koepalojen avulla.

Koekappaleet otettiin koekuormista satunnaisista kohdista. Tuorekosteuskappaleet ja kuivauksen jälkeiset kappaleet otettiin enimmäkseen kuorman reunimmaisista kerroksista, sillä koekappaleiden otto on mahdotonta valmiiden kuormien keskiosista. Tasaamon hissillä koekappaleet pyrittiin ottamaan kuorman keskiosista, sillä kuormien keskiosien kappaleiden kosteudet ovat yleensä lähimpänä todellisia loppukosteuksia tasaannutuksen jälkeen. Koekappaleet olivat noin 15 cm leveitä ja pääsääntöisesti virheettömiä. Kappaleet sahattiin saheiden keskeltä, jotta latva- ja tyvipään mahdollinen ylikuivuminen ei vaikuttaisi koepalan todellisen kosteuden mittaamiseen.

6.2 Tiedon keruu

Työssä tutkittiin kuivatun sahatavaran lisäksi kuormien tuorekosteudet, sillä tuorekosteudet vaikuttavat loppukosteuksiin. Tuorekosteuksia mitattiin ainoastaan koepaloista punnitusmenetelmällä, sillä kosteusmittarit eivät sovellu tuorekosteuksien tarkasteluun. Tuorekosteuskappaleet otettiin eri puolilta kuormaa, jotta saatiin mahdollisimman monipuolinen kuva lähtökosteuksista.

Piikkimittarilla mitattiin kosteudet kuivaamolla ja tasaamon hissillä ennen koepalojen sahaamista. Kuivaamolla piikkimittaus tehtiin kuten kuivaamonhoitaja sen yleensä tekee, jotta pystyttiin vertaamaan normaaliolosuhteissa tehtyä kosteusmittausta kuormasta otettujen koepalojen todellisiin kosteuksiin. Koepalat otettiin kuormasta eri kohdista kuin mistä mittaukset tehtiin, sillä kuivaamonhoitajan mittauskohdat olivat liian hankalia sahaukselle. Hissillä piikkimittaus tehtiin täsmälleen samasta kohdasta kuin mistä koekappale sahattiin, jotta pystyttiin vertaamaan hissien piikkimittarin kosteustuloksia kappaleiden todellisiin kosteuksiin.

FMI kontaktiton in-line -mittaus laitettiin päälle aina ennen koekuorman purkamista linjalle, ja se sammutettiin koekuorman loputtua. Näin ollen FMI-tilastot voitiin tämentää koekuormalle ja tulostaa kuorman tilastot sen keskikosteudesta ja kosteusjakaumasta. FMI-järjestelmää kutsutaan Keiteleen sahalla yleisesti Brookhuisiksi, ja tällä nimellä FMI-järjestelmän kosteustulokset esitetään myös tässä työssä.

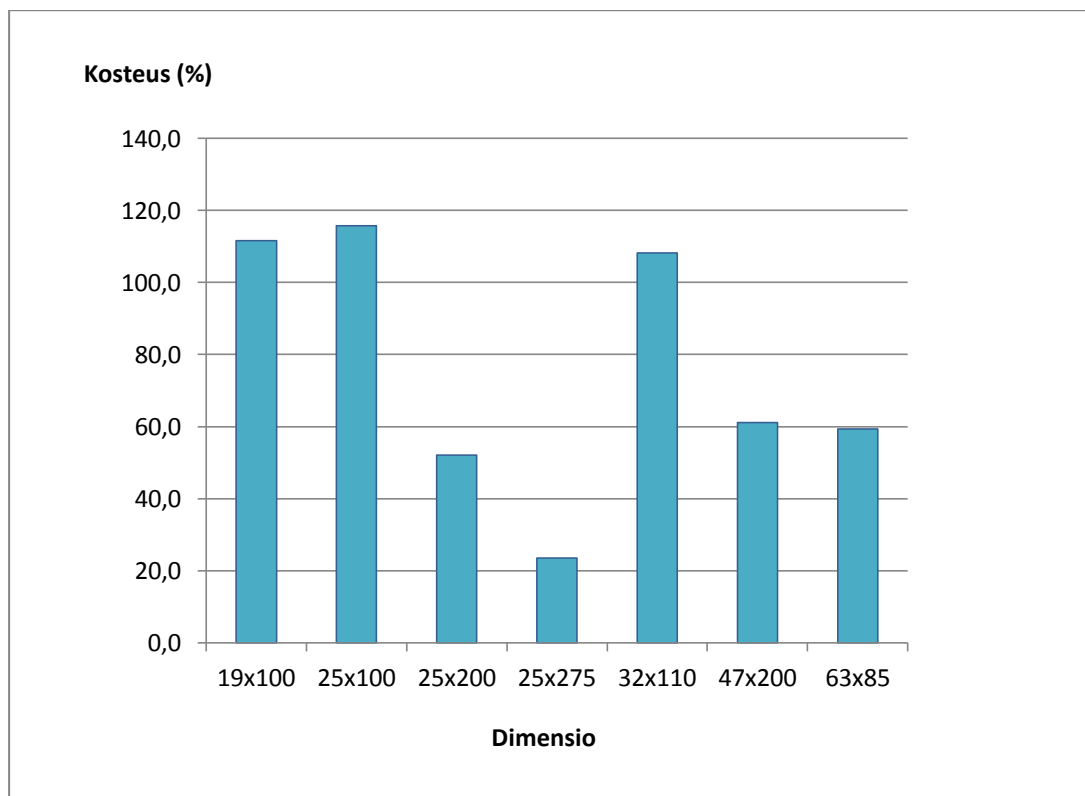
Koepalojen tuloksien lisäksi tärkeässä roolissa oli työntekijöiden kanssa tehty yhteistyö. Koepalojen saatavuuden takia ensin piti olla tiedossa, milloin sahalla oli tulossa tuoreena tutkittaviksi valittuja dimensioita. Tuoreen tavaran sijainti piti myös selvittää, jotta koepalat saatiin sahattua. Kuivaamonhoitajien piti aktiivisesti ilmoittaa, milloin koekuormia oli tulossa ulos kuivaamoista. Näin kosteusmittaukset ja koepalojen sahaukset saatiin tehtyä juuri kuivatuista kuormista kuivaamonhoitajien normaaliin tapaan. Samoin tasaamon vuorotyönjohtajan tuli ilmoittaa koekuormien saapumisesta ajoon, jotta hissillä saatiin tehtyä mittaukset. Tasaamolla yhteistyötä tehtiin myös linjatyöntekijöiden kanssa, jotka pysäyttivät linjaa Brookhuis-mittauksia sekä koepalojen erottelemista varten.

7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Työssä tarkasteltiin lähinnä tuorekosteuksia, kuivauksen jälkeen mitattuja ja koekappaleiden todellisia kosteuksia, tasaamon hissillä mitattuja ja koekappaleiden todellisia kosteuksia sekä kuormien tasaannutusaikoja. Tarkastelussa pyrittiin huomioimaan dimensioiden sekä tasaannutusaikojen väliset erot, vuodenajat sekä tuloksien ja työtapojen luotettavuus. Tärkeää oli myös miettiä, mitkä olivat työn ongelmakohtia ja olisiko muilla tutkimustavoilla päästy erilaisiin loppupäätelmiin.

7.1 Tulokset

Kuusen koekuormien dimensiot olivat 19 x 100, 25 x 100, 25 x 200, 25 x 275, 32 x 110, 47 x 200 ja 63 x 85, joista 63 x 85:n tavoitekosteus oli 12 % ja muiden 18 %. Kuusen koekuormien tuorekosteusvaihtelut esitetään kuvassa 6. Dimensioiden 19 x 100, 25 x 100 ja 32 x 110 tuorekosteudet olivat välillä 33–181 %, ja kaikissa näissä dimensioissa oli useampia kuivia ja märkiä tuorekosteuskappaleita. Leveämällä 25 x 200 ja 25 x 275 dimensioilla tuorekosteudet olivat välillä 23–86 %, joista 25 x 275 tuorekosteudet olivat kaikki noin 23–24 %. Dimensioissa 47 x 200 ja 63 x 85 tuorekosteudet olivat välillä 31–161 %, mutta kummassakin dimensiossa oli vain yksi yli 100 %:n kosteuden kappale.



Kuva 6. Kuusisahatavaran koekuormien tuorekosteuksien keskiarvot.

Kuusen kuormien kosteuksien vaihtelu kuivaamalla ja tasaamalla esitetään taulukossa 1, ja koekappaleiden kosteuksien keskiarvot näkyvät taulukossa 2. Kuivaamon mitatuista kosteuksista suurin vaihtelu oli 3,8 prosenttiyksikköä dimensioissa 19 x 100 ja 25 x 100, mutta todellisista kosteuksista suurin vaihtelu 10,5 prosenttiyksikköä oli dimensiossa 47 x 200. Tasaamalla mitatuista ja todellisista kosteuksista suurin vaihtelu oli dimensiossa 32 x 110, jolla mitatuista kosteuksista vaihtelu oli 5,5 ja todellisista 8,4 prosenttiyksikköä. Suurimmat erot koekappaleiden keskiarvoissa olivat kuivaa-

molla dimensiossa 32 x 100 3,0 prosenttiyksikköä ja tasaamalla dimensiossa 63 x 85 3,2 prosenttiyksikköä.

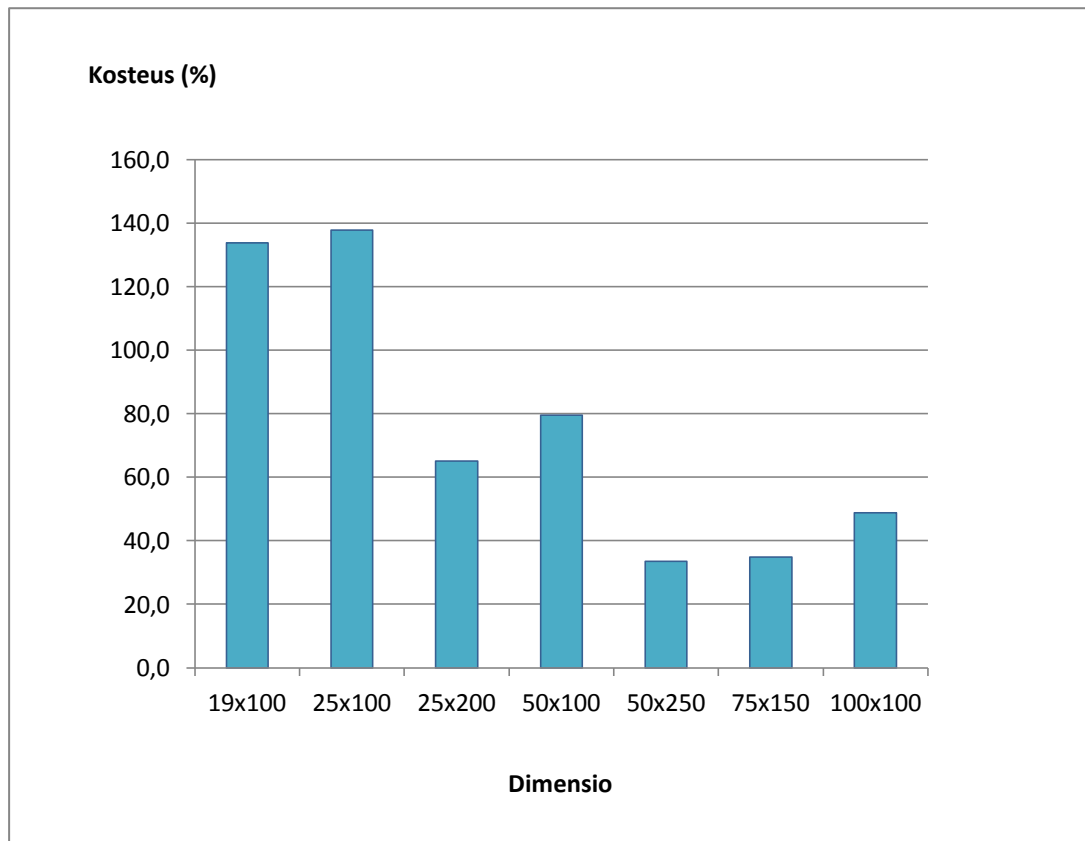
Taulukko 1. Kuusisahatavarakuormien mitattujen kosteuksien vaihteluväli kuivaamolla ja tasaamalla. Mitatut arvot ovat piikkimittarilla määritettyjä ja todelliset arvot uuni-kuivausmenetelmällä määritettyjä.

Kuusi	Kuivaamo		Tasaamo	
	Mitattu (%)	Todellinen (%)	Mitattu (%)	Todellinen (%)
19x100	14,3–18,1	14,4–17,8	13,2–18,3	15,2–23,2
25x100	15,0–18,8	13,9–20,2	16,2–21,5	14,3–19,5
25x200	9,5–10,7	11,0–13,4	10,7–13,0	11,0–13,4
25x275	10,3–11,9	10,5–11,5	12,0–13,2	12,1–13,3
32x110	17,2–19,1	12,2–19,8	17,8–23,3	17,1–25,5
47x200	12,8–16,3	9,1–19,6	16,3–18,8	15,9–18,8
63x85 (12 %)	11,7–13,8	10,6–11,5	14,4–16,5	10,4–17,7

Taulukko 2. Kuusisahatavarakuormien mitattujen kosteuksien keskiarvot kuivaamolla ja tasaamalla. Mitatut arvot ovat piikkimittarilla määritettyjä ja todelliset arvot uuni-kuivausmenetelmällä määritettyjä.

Kuusi	Kuivaamo		Tasaamo		Brookhuis (%)
	Mitattu (%)	Todellinen (%)	Mitattu (%)	Todellinen (%)	
19x100	16,0	16,0	16,1	18,1	19,4
25x100	16,6	16,8	19,8	17,7	15,2
25x200	10,4	12,0	11,8	12,0	12,9
25x275	11,0	11,2	12,5	12,7	11,2
32x110	18,1	15,1	20,3	20,8	18,3
47x200	14,9	14,5	17,2	17,5	15,8
63x85 (12 %)	12,9	11,1	15,2	12,0	12,5

Männyn koekuormien dimensiot olivat 19 x 100, 25 x 100, 25 x 200, 50 x 100, 50 x 250, 75 x 150 ja 100 x 100, joista 75 x 150:n tavoitekosteus oli 14 % ja muiden 18 %. Männyn koekuormien tuorekosteusvaihtelu esitetään kuvassa 7. Tuorekosteudet olivat dimensioissa 19 x 100 ja 25 x 100 välillä 83–181 %. Dimension 50 x 100 tuorekosteudet olivat 40–116 % ja dimensioiden 25 x 200 ja 100 x 100 kosteus vaihteli välillä 32–96 %. Dimensioiden 50 x 250 ja 75 x 150 tuorekosteudet olivat välillä 28–52 %.



Kuva 7. Mäntysahatavaran koekuormien tuorekosteuksien keskiarvot.

Männyn koekuormien kosteuksien vaihtelu kuivaamolla ja tasaamolla esitetään taulukossa 3, ja koekappaleiden kosteuksien keskiarvot näkyvät taulukossa 4. Kuivaamon mitatuissa kosteuksista suurin vaihtelu 8,3 prosenttiyksikköä oli dimensiossa 25 x 100, mutta todellisista kosteuksista suurin vaihtelu 9,3 prosenttiyksikköä oli dimensiossa 75 x 150. Tasaamolla mitatuista kosteuksista suurin vaihtelu 6,3 prosenttiyksikköä oli dimensiossa 25 x 200 ja todellisissa kosteuksista suurin vaihtelu 6,0 prosenttiyksikköä oli dimensiossa 50 x 100. Suurimmat erot koekappaleiden keskiarvoissa olivat kuivaamolla dimensiossa 25 x 200 4,7 prosenttiyksikköä ja tasaamolla dimensiossa 75 x 150 4,2 prosenttiyksikköä.

Taulukko 3. Mäntysahatavarakuormien mitattujen kosteuksien vaihteluväli kuivaamolla ja tasaamolla. Mitatut arvot ovat piikkimittarilla määritettyjä ja todelliset arvot uunikuivausmenetelmällä määritettyjä.

Mänty	Kuivaamo		Tasaamo	
	Mitattu (%)	Todellinen (%)	Mitattu (%)	Todellinen (%)
19x100	9,8–12,5	9,6–12,5	14,6–17,9	12,6–18,1
25x100	15,4–23,3	14,0–20,5	16,1–18,4	14,0–16,5
25x200	13,4–21,7	10,6–14,9	12,6–18,9	12,5–17,9
50x100	12,7–17,3	10,2–12,5	18,9–23,2	16,5–22,5
50x250	11,7–18,1	9,9–16,1	18,4–20,3	17,9–20,5
75x150 (14 %)	13,3–17,6	7,1–16,4	15,6–20,6	12,3–15,3
100x100	13,9–19,7	12,0–17,6	16,1–19,5	13,6–17,2

Taulukko 4. Mäntysahatavarakuormien mitattujen kosteuksien keskiarvot kuivaamolla ja tasaamolla. Mitatut arvot ovat piikkimittarilla määritettyjä ja todelliset arvot uunikuivausmenetelmällä määritettyjä.

Mänty	Kuivaamo		Tasaamo		Brookhuis (%)
	Mitattu (%)	Todellinen (%)	Mitattu (%)	Todellinen (%)	
19x100	11,0	10,8	16,1	14,6	19,6
25x100	17,8	17,4	16,9	15,4	20,3
25x200	16,5	11,8	15,5	15,1	14,6
50x100	14,7	11,2	20,7	19,4	19,1
50x250	15,3	13,3	19,1	18,8	17,6
75x150 (14 %)	14,9	10,4	17,7	13,5	16,6
100x100	16,3	14,9	17,2	15,3	13,3

Tasaannutusajat kuormilla olivat noin kahdesta tunnista 24 vuorokauteen. Yleisin tasaannutusaika oli kuitenkin kahdesta neljään vuorokautta. Alle vuorokauden tasaantumassa olivat kuusen kuormista dimensio 25 x 200 sekä männyn kuormista 19 x 100 ja 75 x 150. Yli viikon tasaantumisajat kuormalle olivat kuusen dimensioilla 25 x 100, 47 x 200 ja 63 x 85.

7.2 Tulosten tarkastelu

Tuloksissa näkyy selvästi, että laudoilla tuorekosteusvaihtelu on suurempaa kuin paksummilla lankuilla. Tämä johtuu sahaustavasta, sillä paksummat dimensiot sahataan tukkien keskiosista, kun taas laudat sahataan läheltä tukin pintaa (Salminen 2015). Tuorekosteuden vaikutus näkyi varsinkin kuusen koekuormissa. Laudoissa tuorekos-

teusvaihtelu oli suurta, mikä heijastui dimensioiden 19 x 100 ja 32 x 110 laajaan loppukosteusvaihteluun. Dimensioissa 25 x 200 ja 25 x 275 tuorekosteudet olivat keskiarvoltaan hyvin alhaisia, mikä aiheutti ylikuivaamisen kuivaamossa. Loppukosteudet olivat kuivaamolla vain noin 11 %, ja hissillä sekä Brookhuisilla noin 12 %.

Selkeästi liian märkää tavaraa ei koekuormissa tullut vastaan, eikä selvää yhteyttä kosteusvaihtelussa kuivaamon ja hissien välillä löytynyt. Sen sijaan mitattujen ja todellisten kosteuksien eroavaisuudet olivat huomattavia. Sekä kuivaamolla että hissillä mäntykappaleiden mitatut kosteuskeskiarvot olivat korkeampia kuin kappaleiden todelliset kosteudet. Tämä tuo ongelmia tasaamalla erityisesti erikoiskuivilla erillä, joilla kosteustoleranssi on ± 2 %. Kuivaamolla ja tasaamalla kosteuserot olivat enimmillään yli 4 prosenttiyksikköä mitatun ja todellisen kosteuden välillä.

Paksumpien sahatavaradimensioiden kohdalla on tärkeää, että tasaannutusajat kuivauksen jälkeen otetaan huomioon. Kuivaamon mittauksissa saattaa sahatavara olla liian kuivaa mittauskohdista, mutta hissillä sahatavara on tavoitekosteudessa. Tämä erottui selkeästi männyn dimensioissa 50 x 100 ja 50 x 250, joilla kuivaamolla kappaleiden todelliset kosteudet olivat 11 % ja 13 %, kun noin kahden vuorokauden päästä hissillä todellinen kosteus oli noin 19 % ja Brookhuisilla 18–19 %. Kuusen dimensiossa 47 x 200 kosteudet olivat kuivaamolla 10–20 %. Pitkän 24 vuorokauden tasaannutusajan jälkeen kosteudet olivat hissillä kuitenkin 16–19 % ja Brookhuisilla 16 %.

7.3 Tulosten luotettavuus

Kaikki mittaukset tehtiin kesällä ja syksyllä, joten tuloksissa ei tarvinnut huomioida taakkojen jäätymistä ja sulamisaikoja. Vertailun vuoksi olisi hyvä tehdä samankaltainen testaus myös talviolosuhteissa ja verrata eroja tämän työn tuloksiin. Kuormien kuivaus- ja pakointiajat vastasivat normaaleja olosuhteita ja tavanomaisia aikoja, joten tämän kannalta tuloksia voi pitää luotettavina. Luotettavuutta tuloksissa lisää myös se, että kaikki mittaukset tehtiin yhden henkilön toimesta, ja mittaustavat ja -olosuhteet pysyivät koko työn ajan samoina. Koepalat vietiin aina heti sahauksen jälkeen punnittaviksi, joten kosteuden haihtuminen tässä vaiheessa saatiin minimoitua.

Tuloksien luotettavuutta heikentää koepalojen sahauskohtien säännöttömyys. Jos jokaisesta kuormasta olisi voitu systemaattisesti tehdä koepalaotanta, olisi tuloksien vertailu keskenään luotettavampaa. Kaikki kuormat eivät kuitenkaan ole samanlaisia tai

samankokoisia, sillä sahalla kaikkea sahatavaraa ei voida rimoittaa samankokoisiksi kuormiksi. Työhön olisikin voitu valita vain samankokoisia koekuormia, jolloin koepalat olisi voitu valita jokaisesta kuormasta samasta kohtaa. Tuloksien luotettavuutta heikentää myös se, ettei kaikkien koekuormien kuivausvalmiudesta ilmoitettu ajoissa, ja osa kuivaamon mittauksista tehtiin vasta 3–5 tuntia kuivauksen valmistumisen jälkeen.

Koepalaotanta olisi voinut olla suurempi kattavampien tuloksien saamiseksi, mutta työhön mitoitettun ajan puitteissa tämä ei ollut mahdollista. Mittauspisteet heti kuivaamon jälkeen ja hissillä todettiin hyväksi, sillä niissä tehdään mittauksia normaalistikin. Seurantaan olisi voitu ottaa myös pitkään tasaantumassa olevien kuormien kosteudet, mutta työtä ei haluttu laajentaa liikaa. Koekuormiksi olisi voitu valita pitkään rimakuormakatoksessa seisoneita kuormia, jotta olisi voitu tutkia pitkän tasaannutusvaiheen ja välivarastoinnin vaikutuksia tasaamon kosteuksiin. Näistä kuormista ei olisi kuitenkaan saatu otettua tuorekosteuksia tai kuivaamon kosteuksia.

8 JATKOTOIMENPITEET

Tuorekosteuksien seuraaminen on hankalaa, sillä ainoa toimiva menetelmä siihen on hidas punnitusmenetelmä. Jatkossa olisi hyvä miettiä ongelmallisten dimensioiden kosteuksien tasaannutusta esimerkiksi höyrytyksen avulla, mitä on tutkittu esimerkiksi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n toimesta. Höyrytyksen avulla voitaisiin ehkäistä epätasaisen loppukosteuden lisäksi myös muita kuivausvirheitä, kuten pintalujuutta ja halkeamia (Sipi 2006: 131). Näin ollen myös laatua saataisiin parannettua, ja laadun takia tulevia reklamaatioita vähennettyä.

Koska tässä työssä kosteudet mittasi yksi henkilö, ei mittaajien välisiä eroja ole. Lisätutkimuksena voitaisiin huomioida mittaajien tuomat tuloserot varsinkin hissillä tehtävässä kosteusmittauksessa. Mittaajien tulisi aina tarkistaa laitteen kunto ja asetukset mitattavan sahatavaran mukaan. Jos mittaajat eivät suorita tarkistusta ennen mittausta, saattaa mittaustulos olla virheellinen, mikä voi näkyä useamman prosenttiyksikön vaihteluna. Esimiehien vastuulla onkin pitää jatkuvasti huolta tuotantotyöntekijöiden osaamisesta ja oikeaoppisista työtavoista sekä korostaa kosteusseurannan vastuullisuutta.

Asiakaslähtöisen tuotannon kautta syntyy enemmän kiireajoja, kun asiakkaalle halutaan toimittaa heidän haluamaansa tavaraa ajallaan. Kiirettä kuivaamalla ja tasaamalla aiheuttavat muun muassa liian tiukalla aikataululla myyty tavara tai inhimillinen unohdus. Jos unohdettu tilaus huomataan liian myöhään, kuivaus ja paketointi täytyy suorittaa muiden tilausten edellä mahdollisimman nopeasti. Tämä vaikeuttaa varsinkin paksumpien dimensioiden kuivausaikatauluja, sillä niiden kuivaus saattaa venyä jopa kaksi päivää arvioitua pidemmäksi, jotta haluttu loppukosteus saavutetaan. (Leinonen 2015.)

Aikataulujen venymisiä ei välttämättä ole huomioitu edes myyntitilanteissa tai luvatuissa toimitusajoissa, eivätkä unohdukset edesauta asiaa. Joustoon ei ole varaa, jos luvatuista toimitusajoista ja rahtilaivoista halutaan pitää kiinni. (Leinonen 2015.) Tämä tarkoittaa sitä, että poikkeustilanteissa osa kuivauskuormista saatetaan joutua ottamaan pois kuivaamosta jo ennen kuivausohjelman päättymistä, ennen halutun loppukosteuden saavuttamista, tai kuivausta joudutaan nopeuttamaan kiireellisen aikataulun vuoksi. Tällaiset kiireen vuoksi muutetut kuivausaikataulut usein vaikuttavat laatuun heikentävästi ja aiheuttavat loppukosteuksien vaihtelevuutta, (Salminen 2015) ja päätös kuivauksen nopeuttamisesta tai kuormien kuivauksen keskeyttämisestä tehdään yhdessä joko tuotantopäällikön tai myynnin kanssa.

Kiireajot aiheuttavat myös sen, että osa kuivatusta kuormista ei mahdu kuivaamon jälkeiseen tasaannutuskatokseen, vaan välivarastoidaan rimakuormakatokseen. Osa kuormista joutuu odottamaan pitkiäkin aikoja ulkopuolisissa katoksissa ja halleissa, mikä altistaa ne ympäristön ja ilmankosteuden muutoksille ja mahdolliselle laadun alenemiselle. Varsinkin erikoiskuivien kuormien välivarastointi ja siirtely on huomiotava erityisen tarkasti. Kuormien siirtotilanteissa isoimpana ongelmana ovat sateet, jotka saattavat kastella kuormaa, ja kuorma saattaa tulla pintamärkänä ajoon. Tällöin riski kosteuden joutumisesta paketteihin on olemassa, ja muovitetuissa paketeissa homehtuminen on märälle sahatavaralle tavallista.

Kiire on tuotantolaitoksilla tavallista, mutta se luo aina riskin tuotannon virheille. Satunnaiset kiireajot myös sekoittavat suunniteltuja ajoja, mikä vaikuttaa niin kuivaamon kuin tasaamon kiireeseen. Jotta kiirettä voitaisiin vähentää, tulisi myynnin lupaamien toimitusaikojen olla realistisempia ja ottaa huomioon mahdolliset aikataulujen venymiset. Myynnin tulisi ilmoittaa nykyistä aikaisemmin ja täsmällisemmin tarvittavat

sahatavaraerät, jotta tuotannonsuunnittelu voitaisiin tehdä järjestelmällisemmin. Näin kiireajoja saataisiin vähennettyä, jolloin kuivausajat pysyisivät optimaalisina ja kuivauksen jälkeisistä tasaannutusajoista voitaisiin pitää kiinni.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia kuivatun sahatavaran kosteusvaihtelua Keiteleellä Keitele Timber Oy:n kuivaamolla ja tasaamolla. Tavoitteena oli etsiä syitä sahatavaran kosteusvaihteluihin ja löytää keinoja vaihtelun vähentämiseen. Kosteuden vaihtelua vähentämällä työvaiheita voitaisiin tehostaa, kun uudelleenkuivauksia saataisiin karsittua pois. Samalla liian kosteasta sahatavarasta johtuvat huomautukset vähenisivät.

Kokeellisessa osassa 14 eri koekuormasta sahattiin 10 koekappaletta yhtä kuormaa kohti ennen kuivausta, heti kuivauksen jälkeen ja tasaamon hissillä. Koekappaleiden kosteutta verrattiin mitatun ja todellisen kosteuden välillä, puulajien välillä sekä eri dimensioiden välillä. Koekuormista kaksi oli erikoiskuivattuja, joista toinen oli tavoittekosteudeltaan 12 % ja toinen 14 %.

Alkukosteuksien suuri vaihtelu tai poikkeuksellisuus näkyi loppukosteuksissa ohuilla laudoilla sekä kuusen lankuilla. Kuivaamon ja tasaamon välisistä kosteuseroista ei löytynyt selvää yhteyttä. Tasaannutusajat kuitenkin osoittautuivat tärkeiksi paksujen dimensioiden ja erityisesti mäntykappaleiden kohdalla; tasaantumisen jälkeen heti kuivauksen jälkeiset, liian alhaiset kosteudet, olivat hissillä jo sallitun marginaalin sisällä.

Alkukosteuksien tuomaa vaihtelua loppukosteuksiin voitaisiin pienentää ongelmallisten dimensioiden höyrytyksellä ennen kuivausta, mikä vähentäisi myös kuivauksesta johtuvaa laadun heikkenemistä. Tasaannutusvaiheet tulisi pitää maltillisina, mutta tarpeeksi pitkinä, jotta kuormien sisäiset kosteuserot ehtisivät tasoittua ennen tasaamoa ja paketointia. Kiireellisyys on merkittävä tekijä kuormien ajojärjestelyjä laatiessa. Kiirettä voitaisiin vähentää sujuvalla kommunikaatiolla myynnin ja tuotannonsuunnittelun välillä sekä toimivien ajojärjestelyjen laatimisella. Näin tuotantolinjat saataisiin keskittämään resurssit kiireellisyyden sijasta laadukkaan sahatavaran tuottamiseen.

LÄHTEET

Heikkinen, Asko. Tasaamon esimiehen haastattelu. 16.3.2015. Sähköpostihaastattelu.

Juntunen, Tapani. Tasaamon vuorotyönjohtajan haastattelu. 22.3.2015. Keitele.

Ivanov, Maxim. Kuivaamon vuoronvalvojan haastattelu. 22.3.2015. Keitele.

Keitele Group Oy. 2014a. Yritys. Saatavissa: www.keitelegroup.fi/yritys [Viitattu 24.11.2014]

Keitele Group Oy. 2014b. Lappi Timber. Saatavissa:
http://www.keitelegroup.fi/lappi_timbert [Viitattu 24.11.2014]

Keitele Group Oy. 2014c. Keitele Timber. Saatavissa:
http://www.keitelegroup.fi/keitele_timber [Viitattu 24.11.2014]

Keitele Group Oy. 2014d. Keitele Wood Products. Saatavissa:
http://www.keitelegroup.fi/keitele_forest_wood_production [Viitattu 24.11.2014]

Keitele Group Oy. 2014e. Keitele Energy. Saatavissa:
http://www.keitelegroup.fi/keitele_energy [Viitattu 24.11.2014]

Keitele Group Oy. 2014f. Tärkeitä vuosilukuja. Saatavissa:
<http://www.keitelegroup.fi/historiikki> [Viitattu 24.11.2014]

Keitele Group Oy. 2014g. Tilinpäätösinformaatio vuodelta 2013. Lehistötiedote. Saatavissa:
http://www.keitelegroup.fi/resources/public/Keitele_Group_tilinp_2013.pdf. [Viitattu 25.11.2014]

Kärkkäinen, Matti. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy. Metsälehti Kustannus.

Laitinen, Kari. 1986. Sahatukin korjuu, kuljetus, mittaus ja varastointi. Kirjassa: Johanson P.E., Juvonen R. (toim.), Mekaaninen metsäteollisuus 2: Sahateollisuus. Hel-

sinki: Valtion painatuskeskus. Ammattikasvatushallitus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys ry.

Leinonen, Jarkko. Tasaamon vuorotyönjohtajan haastattelu. 24.3.2015. Keitele.

Metlas Ky. 1990. Käsittele puuta oikein: Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus. 2. painos. Karhula: Karhulan kirjapaino Oy.

Metsäntutkimuslaitos. 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Tampere: Tammerprint Oy.

Mynttinen, Esko. 1978. Puualan perusoppi 5: Kuivaus. Kokeilupainos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Nenonen, Arttu. 2011. Erikoiskuivatun sahatavaran loppukosteusjakauma Kinnaskoski Oy:n sahalla. Opinnäytetyö: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Opetushallitus. 2013. Sahatavaran valmistus. Saatavissa:

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/sahatavaratuotanto/sahatavaran_valmistus.html. [Viitattu 28.11.2014]

Pelkonen, Harri. 1986. Tukkien käsittely sahalla. Kirjassa: Johanson P.E., Juvonen R. (toim.), Mekaaninen metsäteollisuus 2: Sahateollisuus. Helsinki: Valtion painatuskeskus. Ammattikasvatushallitus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys ry.

Pratt, G. H. 1986. Timber Drying Manual. 2.painos. Iso-Britannia, Buckinghamshire: Building Research Establishment.

Riikonen, Reijo. 1986. Märän sahatavaran käsittelylaitokset. Kirjassa: Johanson P.E., Juvonen R. (toim.), Mekaaninen metsäteollisuus 2: Sahateollisuus. Helsinki: Valtion painatuskeskus. Ammattikasvatushallitus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys ry.

Salminen, Toni. Kuivaamonhoitajan haastattelu. 24.3.2015. Keitele.

Sipi, Marketta. 2006. Puutuoteteollisuus 5: Sahatavaratuotanto. 3. tarkistettu painos.
Helsinki: Edita Oy. Opetushallitus.

Liite 1/1

Kuorman numero: 114810

Dimensio: 19 x 100 KU

Laatu: 97

Tuore 12.9.2014		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
	1	103,0	58,0	77,6
	2	97,0	53,0	83,0
	3	153,0	62,5	144,8
	4	138,0	61,0	126,2
	5	93,5	64,0	46,1
	6	109,0	57,5	89,6
	7	145,0	55,5	161,3
	8	138,0	63,5	117,3
	9	141,0	65,0	116,9
	10	177,0	70,0	152,9

Keskiarvo	111,6
Minimi	46,1
Maksimi	161,3
Vaihtelu	115,2

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Tod. kosteus (%)
Kuivaamosta	1	14,8	68,0	58,5	16,2
18.9.2014	2	17,7	87,5	76,5	14,4
16:22	3	18,1	58,0	50,0	16,0
	4	15,5	82,5	71,5	15,4
	5	16,9	81,0	70,0	15,7
	6	14,3	69,0	59,5	16,0
	7	14,9	53,0	46,5	14,0
	8	16,9	47,5	40,5	17,3
	9	14,5	53,5	45,5	17,6
	10	16,2	63,0	53,5	17,8

Keskiarvo	16,0	16,0
Minimi	14,3	14,0
Maksimi	18,1	17,8
Vaihtelu	3,8	3,8

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Tod. kosteus (%)
Paketointiin	1	15,0	71,5	61,5	16,3
20.9.2014	2	13,2	60,5	52,5	15,2
16:37	3	15,5	66,5	57,0	16,7
	4	16,5	81,5	69,5	17,3
	5	18,3	59,0	49,0	20,4
	6	16,5	63,0	53,5	17,8
	7	16,8	69,0	58,5	17,9
	8	15,8	69,0	56,0	23,2
	9	16,2	48,5	41,5	16,9
	10	17,2	56,5	47,5	18,9

Keskiarvo	16,1	18,1
Minimi	13,2	15,2
Maksimi	18,3	23,2
Vaihtelu	5,1	8,0

Brookhuis: Keskiarvo 19,4 %, min. 11 %

Liite 1/2

Kuorman numero: 114345

Dimensio: 25 x 100 KU

Laatu: 33

Tuore 12.9.2014		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
	1	175,0	81,0	116,0
	2	161,0	71,5	125,2
	3	189,0	92,0	105,4
	4	160,0	75,5	111,9
	5	171,5	64,0	168,0
	6	182,0	60,5	200,8
	7	136,0	75,5	80,1
	8	169,0	90,0	87,8
	9	137,5	77,5	77,4
	10	161,5	87,0	85,6
Keskiarvo				115,8
Minimi				77,4
Maksimi				200,8
Vaihtelu				123,4

Kuivattu Kuivaamosta 15.9.2014 20:11		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
	1	15,7	63,0	55,0	14,5
	2	15,5	65,0	55,0	18,2
	3	17,1	65,0	55,0	18,2
	4	15,0	70,5	61,0	15,6
	5	16,2	57,5	50,0	15,0
	6	18,8	80,0	67,5	18,5
	7	15,2	62,5	52,0	20,2
	8	17,7	54,5	47,5	14,7
	9	17,0	72,0	60,5	19,0
	10	17,6	69,5	61,0	13,9
Keskiarvo		16,6			16,8
Minimi		15,0			13,9
Maksimi		18,8			20,2
Vaihtelu		3,8			6,3

Hissi Paketointiin 22.9.2014 20:14		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
	1	20,3	66,5	56,0	18,8
	2	21,5	76,5	64,0	19,5
	3	21,4	73,0	62,0	17,7
	4	19,9	64,5	55,0	17,3
	5	19,0	73,5	62,0	18,5
	6	20,7	60,0	51,0	17,6
	7	18,7	66,5	57,0	16,7
	8	20,0	70,5	60,0	17,5
	9	16,2	52,0	45,5	14,3
	10	20,3	71,0	59,5	19,3
Keskiarvo		19,8			17,7
Minimi		16,2			14,3
Maksimi		21,5			19,5
Vaihtelu		5,3			5,2

Brookhuis: Keskiarvo 15,2%, min. 9%

Liite 1/3

Kuorman numero: 115032

Dimensio: 25 x 200 KU

Laatu: ST 04

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
13.9.2014	1	181,0	130,5	38,7
	2	196,0	144,0	36,1
	3	220,0	144,5	52,2
	4	215,5	115,5	86,6
	5	206,0	132,5	55,5
	6	185,0	124,0	49,2
	7	208,0	132,0	57,6
	8	170,0	118,0	44,1
	9	167,0	119,5	39,7
	10	201,5	125,0	61,2

Keskiarvo	52,1
Minimi	36,1
Maksimi	86,6
Vaihtelu	50,5

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	10,4	131,5	116,5	12,9
25.9.2014	2	10,6	123,0	110,5	11,3
6:35	3	10,3	117,5	105,5	11,4
	4	10,5	118,5	104,5	13,4
	5	9,5	134,5	120,0	12,1
	6	10,2	119,0	106,5	11,7
	7	10,7	138,5	122,5	13,1
	8	10,6	112,0	100,0	12,0
	9	10,4	91,0	82,0	11,0
	10	10,3	117,5	105,5	11,4

Keskiarvo	10,4	12,0
Minimi	9,5	11,0
Maksimi	10,7	13,4
Vaihtelu	1,2	2,4

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	12,2	124,5	111,0	12,2
25.9.2014	2	12,4	124,0	110,5	12,2
6:35	3	11,4	122,0	109,5	11,4
	4	13,0	157,0	138,5	13,4
	5	11,3	100,5	90,5	11,0
	6	10,9	92,0	82,5	11,5
	7	10,7	102,5	92,0	11,4
	8	12,7	133,5	119,5	11,7
	9	12,0	128,5	114,0	12,7
	10	11,6	132,5	117,5	12,8

Keskiarvo	11,8	12,0
Minimi	10,7	11,0
Maksimi	13,0	13,4
Vaihtelu	2,3	2,4

Brookhuis: Keskiarvo 11,9 %, min. < 8%

Liite 1/4

Kuorman numero: 113298

Dimensio: 25 x 275 KU

Laatu: 33

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
12.9.2014	1	299,5	243,0	23,3
12:24	2	279,5	226,5	23,4
	3	249,0	201,0	23,9
	4	268,0	216,0	24,1
	5	286,0	232,0	23,3
	6	259,5	209,5	23,9
	7	304,5	247,5	23,0
	8	294,5	239,5	23,0
	9	223,5	181,0	23,5
	10	231,0	186,0	24,2
Keskiarvo				23,5
Minimi				23,0
Maksimi				24,2
Vaihtelu				1,2

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	10,3	220,5	198,0	11,4
26.9.2014	2	10,5	243,0	218,0	11,5
9:39	3	10,8	237,0	212,5	11,5
	4	10,5	200,5	181,0	10,8
	5	11,1	262,5	235,5	11,5
	6	11,4	292,0	262,5	11,2
	7	11,4	199,0	179,5	10,9
	8	11,2	265,5	239,0	11,1
	9	11,9	209,0	187,5	11,5
	10	11,3	211,0	191,0	10,5
Keskiarvo		11,0			11,2
Minimi		10,3			10,5
Maksimi		11,9			11,5
Vaihtelu		1,6			1,0

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	12,5	219,5	195,0	12,6
30.9.2014	2	12,0	220,0	196,0	12,2
0:51	3	12,3	218,5	194,0	12,6
	4	12,0	192,0	170,5	12,6
	5	12,2	216,0	192,0	12,5
	6	12,7	236,5	209,5	12,9
	7	11,9	222,0	198,0	12,1
	8	13,1	228,0	202,0	12,9
	9	13,2	255,0	225,0	13,3
	10	12,9	218,5	193,0	13,2
Keskiarvo		12,5			12,7
Minimi		11,9			12,1
Maksimi		13,2			13,3
Vaihtelu		1,3			1,2

Brookhuis: Keskiarvo 11,2%, min. < 8%

Liite 1/5

Kuorman numero: 114816

Dimensio: 32 x 110 KU

Laatu: 33

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
12.9.2014	1	171,0	90,5	89,0
12:24	2	244,0	92,0	165,2
	3	195,5	102,5	90,7
	4	231,5	93,0	148,9
	5	219,0	94,0	133,0
	6	241,5	104,0	132,2
	7	157,0	118,0	33,1
	8	236,0	106,0	122,6
	9	192,5	107,5	79,1
	10	200,0	106,5	87,8

Keskiarvo	108,2
Minimi	33,1
Maksimi	165,2
Vaihtelu	132,1

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	17,4	123,0	108,0	13,9
22.9.2014	2	17,8	134,5	116,0	15,9
20:14	3	19,1	112,0	93,5	19,8
	4	18,6	118,0	102,0	15,7
	5	17,9	137,5	119,0	15,5
	6	18,1	124,5	107,5	15,8
	7	18,8	125,5	107,0	17,3
	8	17,8	122,5	109,0	12,4
	9	17,9	110,0	98,0	12,2
	10	17,2	118,5	105,5	12,3

Keskiarvo	18,1	15,1
Minimi	17,2	12,2
Maksimi	19,1	19,8
Vaihtelu	1,9	7,6

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	17,8	96,0	82,0	17,1
24.9.2014	2	18,7	99,5	84,0	18,5
20:04	3	19,2	79,0	66,5	18,8
	4	19,8	83,0	69,0	20,3
	5	19,1	79,0	66,0	19,7
	6	20,2	96,5	80,0	20,6
	7	23,2	91,0	72,5	25,5
	8	20,9	102,0	83,0	22,9
	9	23,3	126,0	101,5	24,1
	10	21,1	80,5	67,0	20,1

Keskiarvo	20,3	20,8
Minimi	17,8	17,1
Maksimi	23,3	25,5
Vaihtelu	5,5	8,4

Brookhuis: Keskiarvo 18,3 %, min. < 8%

Liite 1/6

Kuorman numero: 115064

Dimensio: 47 x 200 KU

Laatu: 34

Tuore 16.9.2014 13:49		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
	1	424,0	310,0	36,8
	2	294,0	191,0	53,9
	3	675,0	276,5	144,1
	4	427,5	220,0	94,3
	5	606,5	319,5	89,8
	6	298,5	212,0	40,8
	7	270,0	204,0	32,4
	8	333,0	250,0	33,2
	9	358,0	231,5	54,6
	10	220,5	168,0	31,3

Keskiarvo	61,1
Minimi	31,3
Maksimi	144,1
Vaihtelu	112,8

Kuivattu Kuivaamosta 18.9.2014 9:21		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
	1	15,3	285,0	249,0	14,5
	2	16,2	324,0	282,0	14,9
	3	13,6	252,0	223,5	12,8
	4	14,4	320,0	289,0	10,7
	5	15,6	280,0	245,5	14,1
	6	16,1	353,0	303,0	16,5
	7	15,4	356,5	303,5	17,5
	8	16,3	323,5	270,5	19,6
	9	13,2	307,0	266,5	15,2
	10	12,8	215,0	197,0	9,1

Keskiarvo	14,9	14,5
Minimi	12,8	9,1
Maksimi	16,3	19,6
Vaihtelu	3,5	10,5

Hissi Paketointiin 12.10.2014 10:03		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
	1	17,6	296,5	249,5	18,8
	2	17,8	297,5	252,5	17,8
	3	16,4	297,5	254,5	16,9
	4	17,5	261,5	221,5	18,1
	5	16,7	263,0	227,0	15,9
	6	17,1	288,0	246,0	17,1
	7	18,8	315,5	265,5	18,8
	8	16,7	275,0	235,0	17,0
	9	16,3	273,0	233,5	16,9
	10	17,4	298,5	254,0	17,5

Keskiarvo	17,2	17,5
Minimi	16,3	15,9
Maksimi	18,8	18,8
Vaihtelu	2,5	2,9

Brookhuis: Keskiarvo 15,8 %, min. 11%

Liite 1/7

Kuorman numero: R132815

Dimensio: 63 x 85 KU

Laatu:ST, 12%

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
7.9.2014	1	287,0	161,0	78,3
10:32	2	252,0	182,0	38,5
	3	234,0	178,0	31,5
	4	310,0	211,5	46,6
	5	225,0	158,0	42,4
	6	244,5	147,5	65,8
	7	382,5	225,5	69,6
	8	265,0	199,0	33,2
	9	427,0	165,5	158,0
	10	224,0	173,0	29,5

Keskiarvo	59,3
Minimi	29,5
Maksimi	158,0
Vaihtelu	128,5

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	13,6	131,0	118,0	11,0
3.10.2014	2	13,0	155,0	139,0	11,5
4:34	3	12,6	149,5	134,5	11,2
	4	11,7	125,0	113,0	10,6
	5	13,4	152,5	137,5	10,9
	6	12,9	148,5	133,5	11,2
	7	13,8	122,0	109,5	11,4
	8	13,1	129,0	116,0	11,2
	9	12,4	133,0	119,5	11,3
	10	12,9	146,5	132,0	11,0

Keskiarvo	12,9	11,1
Minimi	11,7	10,6
Maksimi	13,8	11,5
Vaihtelu	2,1	0,9

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	14,6	130,0	114,5	13,5
13.10.2014	2	14,7	114,5	101,5	12,8
11:13	3	14,5	173,0	151,5	14,2
	4	14,4	180,0	159,0	13,2
	5	16,0	176,5	154,0	14,6
	6	16,4	133,5	115,5	15,6
	7	15,1	111,5	99,5	12,1
	8	14,7	125,5	110,0	14,1
	9	16,5	171,0	149,0	14,8
	10	15,2	127,0	112,0	13,4

Keskiarvo	15,2	13,8
Minimi	14,4	12,1
Maksimi	16,5	15,6
Vaihtelu	2,1	3,5

Brookhuis: Keskiarvo 12,5 %, min. < 8%

Liite 2/1

Kuorman numero: 113657

Dimensio: 19 x 100 MÄ

Laatu: 97

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
26.8.2014	1	129,5	62,5	107,2
14:35	2	133,0	58,5	127,4
	3	140,0	56,0	150,0
	4	139,5	62,0	125,0
	5	121,0	56,0	116,1
	6	130,5	49,5	163,6
	7	121,0	48,0	152,1
	8	118,0	54,5	116,5
	9	121,5	47,0	158,5
	10	117,5	53,0	121,7

Keskiarvo	133,8
Minimi	107,2
Maksimi	163,6
Vaihtelu	56,4

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	10,4	51,0	46,0	10,9
29.8.2014	2	11,8	63,0	57,0	10,5
7:39	3	12,5	57,0	52,0	9,6
	4	9,8	57,5	52,0	10,6
	5	10,7	63,5	57,0	11,4
	6	11,3	63,0	56,0	12,5
	7	10,2	48,0	43,5	10,3
	8	9,8	52,0	47,0	10,6
	9	11,2	54,5	49,0	11,2
	10	12,4	59,0	53,5	10,3

Keskiarvo	11,0	10,8
Minimi	9,8	9,6
Maksimi	12,5	12,5
Vaihtelu	2,7	2,9

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	15,9	60,5	53,5	13,1
29.8.2014	2	14,6	49,0	43,5	12,6
11:16	3	16,7	60,0	52,0	15,4
	4	17,2	58,0	50,0	16,0
	5	17,9	55,5	47,0	18,1
	6	14,8	63,5	55,5	14,4
	7	14,7	52,0	46,0	13,0
	8	16,4	57,0	49,5	15,2
	9	17,1	64,0	56,0	14,3
	10	16,0	52,5	46,0	14,1

Keskiarvo	16,1	14,6
Minimi	14,6	12,6
Maksimi	17,9	18,1
Vaihtelu	3,3	5,5

Brookhuis: Keskiarvo 19,6 %, min. < 8%

Liite 2/2

Kuorman numero: 113284

Dimensio: 25 x 100 MÄ

Laatu: 97

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
21.8.2014	1	124,0	53,5	131,8
10:58	2	133,0	53,5	148,6
	3	142,5	56,0	154,5
	4	138,0	57,5	140,0
	5	115,5	63,0	83,3
	6	144,0	64,5	123,3
	7	159,0	56,5	181,4
	8	148,5	63,0	135,7
	9	130,5	51,0	155,9
	10	146,0	65,5	122,9
Keskiarvo				137,7
Minimi				83,3
Maksimi				181,4
Vaihtelu				98,1

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	16,0	86,5	73,0	18,5
27.8.2014	2	18,7	70,5	58,5	20,5
15:00	3	15,4	89,0	76,0	17,1
	4	17,6	63,5	54,5	16,5
	5	17,8	76,5	64,5	18,6
	6	23,3	74,0	62,5	18,4
	7	20,4	75,5	64,5	17,1
	8	16,6	62,0	53,5	15,9
	9	15,9	69,0	60,5	14,0
	10	16,5	67,0	57,0	17,5
Keskiarvo		17,8			17,4
Minimi		15,4			14,0
Maksimi		23,3			20,5
Vaihtelu		7,9			6,5

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	18,4	83,0	71,5	16,1
30.8.2014	2	17,1	61,5	53,0	16,0
21:45	3	17,0	67,0	58,0	15,5
	4	16,6	68,0	59,0	15,3
	5	16,1	59,0	51,0	15,7
	6	16,2	57,0	50,0	14,0
	7	16,5	67,0	57,5	16,5
	8	16,1	68,5	59,5	15,1
	9	17,9	67,5	58,0	16,4
	10	17,1	76,0	65,5	16,0
Keskiarvo		16,9			15,7
Minimi		16,1			14,0
Maksimi		18,4			16,5
Vaihtelu		2,3			2,5

Brookhuis: Keskiarvo 20,3 %, min. 10%

Liite 2/3

Kuorman numero: 113781

Dimensio: 25 x 200 MÄ

Laatu: 94

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
28.8.2014	1	235,5	123,5	90,7
14:48	2	159,5	122,0	30,7
	3	266,5	136,5	95,2
	4	172,0	119,0	44,5
	5	239,5	129,0	85,7
	6	205,5	121,5	69,1
	7	234,5	119,5	96,2
	8	164,5	124,0	32,7
	9	226,0	147,0	53,7
	10	198,5	130,5	52,1

Keskiarvo	65,1
Minimi	30,7
Maksimi	96,2
Vaihtelu	65,5

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	17,6	197,5	178,0	11,0
5.9.2014	2	14,5	223,5	199,0	12,3
10:03	3	17,6	223,5	201,5	10,9
	4	13,6	211,5	184,0	14,9
	5	21,2	232,0	205,5	12,9
	6	13,4	209,0	187,5	11,5
	7	15,0	198,5	179,5	10,6
	8	21,7	177,0	160,0	10,6
	9	17,0	198,0	176,5	12,2
	10	13,8	235,0	211,5	11,1

Keskiarvo	16,5	11,8
Minimi	13,4	10,6
Maksimi	21,7	14,9
Vaihtelu	8,3	4,3

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	13,1	154,5	136,5	13,2
9.9.2014	2	12,6	157,5	140,0	12,5
19:38	3	16,4	176,0	154,0	14,3
	4	15,6	216,0	188,5	14,6
	5	16,0	158,5	137,5	15,3
	6	14,1	176,5	154,5	14,2
	7	18,8	162,5	138,0	17,8
	8	14,5	178,0	154,5	15,2
	9	15,3	182,0	157,5	15,6
	10	18,9	158,0	134,0	17,9

Keskiarvo	15,5	15,1
Minimi	12,6	12,5
Maksimi	18,9	17,9
Vaihtelu	6,3	5,4

Brookhuis: Keskiarvo 14,6 %, min. 9%

Liite 2/4

Kuorman numero: R132384

Dimensio: 50 x 100 MÄ

Laatu: 69

Tuore 28.8.2014		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
	1	201,0	122,5	64,1
	2	217,0	124,5	74,3
	3	225,0	126,5	77,9
	4	244,5	113,0	116,4
	5	180,0	128,5	40,1
	6	218,5	133,0	64,3
	7	214,0	117,0	82,9
	8	261,0	144,5	80,6
	9	240,5	119,0	102,1
	10	261,5	136,0	92,3
Keskiarvo				79,5
Minimi				40,1
Maksimi				116,4
Vaihtelu				76,3

Kuivattu Kuivaamosta 7.9.2014 10:08		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
	1	13,6	225,0	200,0	12,5
	2	12,7	191,0	171,0	11,7
	3	17,0	241,0	215,0	12,1
	4	14,2	225,5	202,0	11,6
	5	13,7	201,5	181,0	11,3
	6	13,7	170,0	154,0	10,4
	7	14,1	188,5	170,5	10,6
	8	13,4	204,5	185,5	10,2
	9	17,3	244,0	219,0	11,4
	10	17,0	260,0	235,5	10,4
Keskiarvo		14,7			11,2
Minimi		12,7			10,2
Maksimi		17,3			12,5
Vaihtelu		4,6			2,3

Hissi Paketointiin 9.9.2014 18:00		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
	1	20,3	138,0	116,0	19,0
	2	19,5	120,0	103,0	16,5
	3	21,8	173,5	144,0	20,5
	4	20,4	110,0	92,5	18,9
	5	21,1	142,5	121,5	17,3
	6	21,1	145,5	120,5	20,7
	7	23,2	139,0	113,5	22,5
	8	18,9	140,0	118,5	18,1
	9	19,5	114,0	96,0	18,8
	10	21,3	136,0	111,5	22,0
Keskiarvo		20,7			19,4
Minimi		18,9			16,5
Maksimi		23,2			22,5
Vaihtelu		4,3			6,0

Brookhuis: Keskiarvo 19,1 %, min. < 8 %

Liite 2/5

Kuorman numero: 113721

Dimensio: 50 x 250 MÄ

Laatu: 69

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
27.8.2014	1	375,5	286,5	31,1
15:16	2	377,0	286,0	31,8
	3	379,5	289,5	31,1
	4	385,5	293,0	31,6
	5	480,0	347,5	38,1
	6	417,0	316,5	31,8
	7	395,5	299,5	32,1
	8	349,0	263,0	32,7
	9	400,0	280,5	42,6
	10	429,0	323,5	32,6

Keskiarvo	33,5
Minimi	31,1
Maksimi	42,6
Vaihtelu	11,5

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	14,3	432,0	378,5	14,1
14.9.2014	2	14,0	527,0	454,0	16,1
20:17	3	11,7	454,5	402,0	13,1
	4	13,2	602,5	524,5	14,9
	5	18,1	488,0	430,0	13,5
	6	15,3	449,0	398,0	12,8
	7	17,3	349,0	317,5	9,9
	8	16,1	413,0	375,0	10,1
	9	17,2	565,0	497,5	13,6
	10	15,4	475,0	412,5	15,2

Keskiarvo	15,3	13,3
Minimi	11,7	9,9
Maksimi	18,1	16,1
Vaihtelu	6,4	6,2

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	20,2	381,5	323,0	18,1
18.9.2014	2	18,9	386,0	327,5	17,9
20:48	3	20,3	383,5	323,0	18,7
	4	18,5	469,5	397,5	18,1
	5	18,4	603,5	509,0	18,6
	6	19,6	484,5	406,5	19,2
	7	18,4	456,0	378,5	20,5
	8	18,9	435,5	367,0	18,7
	9	18,8	563,5	473,0	19,1
	10	19,1	653,5	549,0	19,0

Keskiarvo	19,1	18,8
Minimi	18,4	17,9
Maksimi	20,3	20,5
Vaihtelu	1,9	2,6

Brookhuis: Keskiarvo 17,6 %, min. 12%

Liite 2/6

Kuorman numero: 113937

Dimensio: 75x150 MÄ

Laatu: 69 14%

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
7.9.2014	1	558,0	431,0	29,5
10:23	2	532,0	361,5	47,2
	3	409,5	315,5	29,8
	4	399,0	303,5	31,5
	5	454,0	323,5	40,3
	6	452,5	354,0	27,8
	7	410,5	313,5	30,9
	8	369,5	285,5	29,4
	9	401,0	308,5	30,0
	10	477,0	314,0	51,9

Keskiarvo	34,8
Minimi	27,8
Maksimi	51,9
Vaihtelu	24,1

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	15,2	328,5	305,5	7,5
21.9.2014	2	14,9	529,5	487,0	8,7
15:33	3	14,8	367,5	326,0	12,7
	4	15,3	322,5	301,0	7,1
	5	17,6	361,5	337,0	7,3
	6	14,6	336,5	289,0	16,4
	7	16,0	301,5	281,0	7,3
	8	13,9	414,0	369,0	12,2
	9	13,3	358,0	318,5	12,4
	10	13,5	370,0	329,5	12,3

Keskiarvo	14,9	10,4
Minimi	13,3	7,1
Maksimi	17,6	16,4
Vaihtelu	4,3	9,3

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	20,6	411,0	357,5	15,0
22.9.2014	2	19,1	421,0	373,0	12,9
11:47	3	15,6	342,0	304,5	12,3
	4	16,0	369,0	327,0	12,8
	5	17,2	353,5	310,0	14,0
	6	18,8	365,5	317,0	15,3
	7	16,9	357,5	314,5	13,7
	8	17,3	378,5	335,0	13,0
	9	17,8	383,0	338,5	13,1
	10	17,4	439,0	388,0	13,1

Keskiarvo	17,7	13,5
Minimi	15,6	12,3
Maksimi	20,6	15,3
Vaihtelu	5,0	3,0

Brookhuis: Keskiarvo 16,6 %, min. 12%

Liite 2/7

Kuorman numero: 113901

Dimensio: 100 x 100 MÄ

Laatu: 69

Tuore		Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Kosteus (%)
29.8.2014	1	389,5	291,0	33,8
11:43	2	440,0	280,0	57,1
	3	404,0	280,5	44,0
	4	363,5	222,0	63,7
	5	316,0	218,0	45,0
	6	336,5	243,5	38,2
	7	371,5	280,5	32,4
	8	365,5	195,5	87,0
	9	294,5	209,5	40,6
	10	337,5	231,5	45,8

Keskiarvo	48,8
Minimi	32,4
Maksimi	87,0
Vaihtelu	54,6

Kuivattu		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Kuivaamosta	1	17,4	390,5	336,5	16,0
9.9.2014	2	15,6	459,0	392,0	17,1
15:36	3	16,0	318,5	284,5	12,0
	4	17,2	315,0	275,0	14,5
	5	13,9	238,5	211,0	13,0
	6	15,6	358,0	306,5	16,8
	7	17,4	384,5	327,0	17,6
	8	14,0	341,0	301,5	13,1
	9	19,7	368,5	317,0	16,2
	10	15,9	251,0	222,5	12,8

Keskiarvo	16,3	14,9
Minimi	13,9	12,0
Maksimi	19,7	17,6
Vaihtelu	5,8	5,6

Hissi		Mitattu kosteus (%)	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Todellinen kosteus (%)
Paketointiin	1	16,1	312,5	275,0	13,6
15.9.2014	2	19,5	341,5	294,5	16,0
11:49	3	16,3	254,5	222,0	14,6
	4	16,1	299,0	262,5	13,9
	5	17,2	370,0	320,5	15,4
	6	16,8	310,0	265,5	16,8
	7	16,5	273,0	237,5	14,9
	8	19,1	399,0	340,5	17,2
	9	18,2	359,0	309,5	16,0
	10	16,5	258,0	225,0	14,7

Keskiarvo	17,2	15,3
Minimi	16,1	13,6
Maksimi	19,5	17,2
Vaihtelu	3,4	3,6

Brookhuis: Keskiarvo 13,3 %, min. < 8%